

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy – Ústav letecké dopravy

Využití bezpilotních létajících prostředků pro telemetrické účely –
návrh letadla

UAV utilization for telemetry – Airplane design

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Bronislav Klimánek
Ing. Lubor Sobek, Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Bronislav Klimánek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 40 Letecká doprava
Téma: **Využití bezpilotních létajících prostředků pro telemetrické účely - návrh letadla**
UAV Utilization for Telemetry - Aeroplane Design

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Teoretický návrh a praktické provedení bezpilotního létajícího prostředku.

Osnova:

1. Stanovení základní koncepce bezpilotního létajícího prostředku.
2. Výpočet základních aerodynamických a pevnostních charakteristik.
3. Návrh konkrétního řešení létajícího prostředku včetně výkresové dokumentace.
4. Praktické provedení.
5. Ověření výkonů a vlastností za letu.

Seznam doporučené odborné literatury:

Lněnička, J.: Letecké modelářství a aerodynamika, Naše vojsko, Praha, 1977
Musil, M.: Aerodynamika moderních leteckých modelů, Naše vojsko, Praha, 1978
Beňo, L.: Lietadlá, Alfa, Bratislava, 1988
Časopisy RC revue a RC modely, vybraná čísla

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lubor Sobek, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

20.5.2010
V Ostravě


.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

20.5.2010
V Ostravě :

.....
podpis

Bc. Bronislav Klimánek

Horymírova 120

Ostrava – Zábřeh

70030

Anotace diplomové práce:

Klimánek, Bronislav. *Využití bezpilotního létajícího prostředku pro telemetrické účely – návrh letadla*; diplomová práce. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB – technická univerzita ostrava 2010. 74 stran.

Vedoucí práce Ing. Lubor Sobek, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem bezpilotního letounu využitelného pro telemetrické účely. V úvodu práce jsou uvedeny podmínky provozu a možnosti využití UAV. V další části práce je navržena koncepce prostředku, tak aby vyhověl požadavkům na něj kladeným. Zmíněny jsou všechny části konstrukce a jsou uvedeny jeho předpokládané letové vlastnosti. Dále následuje konkrétní návrh konstrukce letounu. Zmíněno je veškeré vybavení, které je k provozu letounu nezbytné. V práci jsou podrobně vyjmenovány všechny náklady na stavbu letounu. V přílohách práce je uvedeno nastavení vysílače, jsou zde obrázky ze stavby a záletu letounu. Poslední přílohou jsou výkresy letounu.

Annotation of master thesis:

Klimánek, Bronislav. *UAV utilization for telemetry – Airplane design*; master's thesis. Ostrava Institute of transport, faculty of mechanical engineering, VŠB – Technical university of Ostrava 2010. 74 pages.

Thesis head Ing. Lubor Sobek, Ph.D.

This master's thesis deals with design and construction of Unmanned Aerial Vehicle that would be suitable for utilization of telemetry. Use regulations and application possibilities are specified in the first part of the thesis. The next part deals with the overall conception of aerial vehicle's construction designed in a way to meet all necessary requirements. Especially mentioned are all the components of the construction of the UAV and its expected flying qualities. Concrete plan of the construction of the vehicle is specified in subsequent part of the thesis. All the equipment that is necessary for successful operation of the aircraft is listed, including the detailed specification of build costs. Appendixes of the thesis deal with the setup of a control radio, show pictures from the process of building of the model as well as the pictures from UAV's inrun. Drawings of the aircraft represent the last appendix of the thesis.

Obsah:

	strana
Seznam použitých značek a symbolů.....	8
Úvod.....	10
Historie UAV.....	10
Použití UAV.....	12
Legislativa.....	14
1 Cíle.....	17
2 Koncepce modelu.....	18
2.1 Křídlo.....	21
2.1.1 Profil křídla.....	22
2.1.2 Umístění křídla vzhledem k trupu.....	23
2.1.3 Geometrické charakteristiky křídla.....	24
2.1.4 Křídélka.....	26
2.1.5 Zakončení křídla.....	28
2.2 Ocasní plochy.....	30
2.2.1 Profil ocasních ploch.....	31
2.2.2 Geometrické charakteristiky ocasních ploch.....	31
2.2.3 Řízení ocasních ploch.....	34
2.3 Trup.....	36
2.4 Přistávací zařízení.....	38
2.4.1 Geometrické charakteristiky.....	38
2.5 Pohonná jednotka.....	41
2.5.1 Žhavicí svíčka.....	42
2.5.2 Vrtule.....	43
2.5.3 Palivo.....	43
2.5.4 Vyosení motoru.....	44
2.5.5 Příslušenství motoru.....	44
2.6 Řízení modelu.....	45
2.6.1 Požadavky na RC soupravu.....	46
2.6.2 Frekvence a modulace RC souprav.....	47
2.6.3 Volba RC soupravy.....	48
2.6.4 Serva.....	50

2.6.5 Akumulátory.....	53
2.7 Podélná stabilita modelu.....	53
3 Konstrukce modelu.....	58
3.1 Trup.....	58
3.2 Křídlo.....	59
3.3 Ocasní plochy.....	61
3.4 Přistávací zařízení.....	61
3.5 Pohonná jednotka a palivový systém.....	62
3.6 Systém řízení.....	62
3.7 Elektrický systém.....	63
3.8 Užitečný prostor.....	63
3.9 Pevnost modelu.....	64
4 Zálet.....	67
5 Náklady.....	67
6 Zhodnocení cílů.....	72
7 Závěr.....	73
8 Seznam použitých pramenů.....	74
9 Seznam příloh.....	76

Seznam použitých značek:

značka	jednotka	Význam
σ_o	Mpa	Napětí v ohybu
A	1	Mohutnost ocasních ploch
a	mm	Vyložení předového podvozku
a_{tr}	mm	Největší výška trupu
b	m, mm	Hloubka profilu, rozchod kol podvozku
B	mm	Rozchod kol podvozku
b_{tr}	mm	Největší šířka trupu
c_d	1	Součinitel odporu
C_l	1	Součinitel vztlaku
d	m, mm	Tloušťka profilu
e	mm	Vyložení hlavního podvozku
f	mm	Prohnutí střední čáry profilu
F_z	N	Zatěžující síla
g	$m*s^{-2}$	Gravitační zrychlení
l	m, mm	rozpětí
l_c	mm	Celková délka trupu
l_{SOP}	mm	Vzdálenost mezi čtvrtinovými body křídla a SOP
l_{tr}	mm	Délka trupové gondoly
l_{VOP}	mm	Vzdálenost mezi čtvrtinovými body křídla a VOP
m	g, kg	Hmotnost
M_o	Nm	Ohybový moment
n	1	násobek
Re	1	Reynoldsovo číslo
S	m^2, dm^2, mm^2	Plocha
v	$m*s^{-1}$	Rychlost
W_o	mm^3	Průřezový modul v ohybu
x_d	mm	Poloha největší tloušťky profilu
x_f	mm	Poloha největšího prohnutí profilu
α	°	Úhel náběhu křídla
β_1	°	Úhel vyložení hlavního podvozku

β_2	°	Úhel vyložení předového podvozku
λ	1	štíhlost
ρ	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Hustota
φ_1	°	Úhel postoje letounu
φ_2	°	Úhel překlopení
ψ	°	Úhel vzepětí

Seznam indexů

index	význam
k	Křídlo
kř	Křídélka
OP	Ocasní plochy
SOP	Svislé ocasní plochy
tr	trup
VOP	Vodorovné ocasní plochy

Seznam zkratk:

OP	Ocasní plochy
SOP	Svislé ocasní plochy
UAV	Bezpilotní létající prostředek Unmanned aerial vehicle
ÚCL	Ústav pro civilní letectví
VOP	Vodorovné ocasní plochy

Úvod

Bezpilotní létající prostředky, jsou létající stroje, na jejichž palubě se nenachází lidská posádka. Jsou řízeny dálkově nebo pomocí samočinného systému. Oficiálně se pro takovéto prostředky používá zkratka UAV, která vznikla z anglických slov Unmanned Aerial Vehicles.

Bezpilotní létající prostředky nejsou ničím novým, jejich využití se ovšem omezuje především na vojenské účely. Jejich masivnějšímu využití v civilních aplikacích brání především nedostatečně propracovaná legislativa. Zdá se však, že by v blízké době (1. června 2010) mohl začít platit doplněk X k předpisu L2 – pravidla létání, který upravuje právě tuto oblast letectví.

Historie UAV:

Již před startem prvního pilotovaného letounu, byly použity první primitivní bezpilotní prostředky. V té době se však jednalo o balóny nebo draky. Například v roce 1863 vynálezce z New Yorku Charles Perley patentoval svůj bombardovací balón. V roce 1883 byla z velkého draka pořízená první letecká fotografie z nepilotovaného stroje. Před první světovou válkou se začínají testovat klasické letouny, sloužící jako létající torpéda. Nejsou ještě dálkově řízeny. Na jejich palubě se nachází pouze gyroskopický stabilizátor, sloužící k držení přímého směru a výšky. Přímou v boji ale tyto stroje obvykle nebyly.

Prvním skutečným bezpilotním letounem, který byl řízen rádiovou aparaturou a byl schopen návratu a opakovaného použití byl upravený britský dvojplošník Tiger Moth, v bezpilotní verzi označený jako DH. 82 B Queen Bee. První let se uskutečnil v roce 1935. Letouny se používaly jako cvičné terče pro protiletadlovou obranu. Dostup byl přes 5000 metrů, dolet 480 kilometrů a rychlost přes 160 km/h. Do roku 1947 bylo vyrobeno celkem 380 strojů Queen Bee. V roce 1939 byla v Los Angeles založena firma Radioplane Company, která se specializovala na výrobu malých rádiem řízených modelů. Tyto modely opět sloužily jako cvičné terče pro protiletadlovou obranu. Prvním ze série strojů, který byl použit americkou armádou, byl OQ-2 A. Jednalo se o hornoplošník s rozpětím 3,72 metrů a délce 2,65 metrů, jeho hmotnost byla 65 kilogramů, rychlost 137 Km/h a výdrž 60 minut. Poháněl

jej dvouválcový motor se dvěma protiběžnými vrtulemi. Model startoval pomocí katapultu a přistával na padáku.



Obr. 1 – Radioplane company OQ-2A

Během druhé světové války bylo použito několik typů bezpilotních prostředků. Nejznámější je asi německá létající puma V-1, poháněna pulzačním motorem, díky kterému byla schopna dosáhnout rychlosti až 750 km/h. Puma V1 byla používána proti nevojenským cílům. Zvláštním typem byl německý komplet Mistel,

který sestával z pilotované stíhačky a pod ní zavěšené létající pumy vytvořené z bombardéru. Také Američané během druhé světové války využili bezpilotní letouny. V rámci programu Afrodite, bylo na dálkové řízení přestavěno několik letounů typu B-17 Flying Fortress a B-24 Liberator. Tyto letouny sloužily k útokům na silně chráněné objekty v Německu a Japonsku. Obecně se však dá říci, že použití bezpilotních prostředků během druhé světové války nebylo příliš významné.

Po válce se bezpilotní prostředky dále využívaly jako cvičné terče. Roku 1950 začaly práce na prvním ruském bezpilotním prostředku Lavočkin LA-17. Byl to celokovový letoun, sloužící jako cvičný terč, časem byl využíván také pro jiné účely. V roce 1960 začali U.S. air force první program v němž modifikovali bezpilotní prostředek na průzkumnou verzi. Jednalo se o AQM-34 Ryan Firebee, který byl upraven tak, aby nebyl zjištěitelný radarem. Měl upravený tvar vstupního ústrojí motoru, potah po stranách trupu a byl opatřen speciálním nátěrem. Startoval z řídicího letadla DC-130 a po splnění mise byl nasměrován do bezpečného prostoru, kde přistál na padáku. V 70. letech tato letadla využila izraelská armáda jako klamné cíle ve



Obr. 2 – Ryan AQM -34 Firebee

válce s Egyptem a Sýrii. V 70. letech rovněž začínají s vývojem bezpilotních prostředků také

další země. V 80. letech se velmi rozvíjí vývoj UAV v Izraeli, který mnoho svých bezpilotních prostředků prodává i do dalších zemí. V dalších letech se počet typů bezpilotních prostředků dále rozrůstá, stejně jako počet zemí, které vyvíjejí své vlastní bezpilotní prostředky.

V dnešní době již existuje nepřeberné množství typů bezpilotních prostředků, schopných plnit nejrůznější úkoly od monitorování, až po bojové akce. Využívá se koncepcí od letadel lehčích než vzduch, přes vrtulníky, až po klasické plošníky. Jejich parametry jsou přizpůsobeny úkolům, které mají plnit. Příklad charakteristik některých dnešních bezpilotních letounů je v tabulce.

Tab. 1 - charakteristické znaky různých kategorií UAV

Značka	Kategorie	Hmotnost [kg]	Dolet [km]	Dostup [m]	Výdrž [h]
μ	Mikro	< 5	< 10	250	1
Mini	Mini	< 20	< 10	150	< 2
CR	Close range	20 – 150	10 – 30	3000	2 – 4
SR	Short range	50 – 250	30 – 70	3000	3 – 6
MR	Medium range	150 – 500	70 – 200	5000	6 – 10
MRE	MR Endurance	500 – 1500	> 500	8000	10 – 18
LADP	Low Alt. Deep Penetration	250 – 2500	> 250	50 - 9000	0,5 – 1
LALE	Low Alt. Long Endurance	15-25	> 500	3000	> 24
MALE	Medium Alt. Long Endur.	1000 - 500	> 500	5/8000	24 – 48
HALE	High Alt. Long Endurance	2500 – 5000	> 250	20000	24 – 48

Využití UAV:

Rozsah použití bezpilotních létajících prostředků v civilní oblasti je velmi široký, jeho problémem jsou však legislativní bariéry, navíc v mnoha případech také velké investice do vývoje technologií. Oblasti, ve kterých by bylo možno najít uplatnění pro bezpilotní prostředky, by mohly být zhruba takovéto (tučně jsou zvýrazněny aplikace, kterých by bylo možno využít v podmínkách ČR):

- Vědecké mise – bezpilotní prostředky najdou uplatnění ve vědeckých misích, které nejsou vhodné pro lety s lidskou posádkou z hlediska lidské výkonnosti (např. lety ve velkých výškách), nebo které jsou pro pilotovaný let nebezpečné.
 - **Výzkum atmosféry**
 - Studium sopečné aktivity
 - Oceanografická pozorování
 - Výzkum hurikánů
 - **Geologický průzkum**
 - **Předpovídání počasí**
- Mise v ohrožení – použití bezpilotních prostředků je výhodné, nebo dokonce v některých případech jediné možné řešení, jak monitorovat nebo zasahovat v situacích, kde by lidská posádka byla vystavena neúměrnému riziku.
 - **Řízení a hodnocení krizových situací**
 - **Pátrací a záchranné akce**
 - **Boj s požáry**
 - Olejové skvrny
 - Pozorování hurikánů
 - **Pozorování záplav**
 - Monitorování sopek
 - Monitorování zemětřesení
 - **Monitorování radiace**
- Pozorovací mise – zde není použití bezpilotních prostředků jedinou možností, může však být výhodné z hlediska snadné obsluhy a rychlé použitelnosti.
 - **Střežení hranic**
 - **Detekce lesních požárů**
 - **Monitorování dopravy**
 - Monitorování pobřeží
 - **Monitorování vedení VN**
 - **Monitorování energovodů**
 - **Monitorování prostředí**
 - Námořní hlídkování
 - **Narušení zákonů**
 - Sledování drogových cest
 - **Přesné mapování terénu**

- **Sledování úrody a sklizně**
- Komunikační mise – během komunikačních misí najdou bezpilotní prostředky uplatnění díky velké vytrvalosti, která by pro lidskou posádku představovala nadměrnou zátěž, a také díky možnosti operovat ve velkých výškách.
 - Širokopásmová komunikace
 - Přenosové telekomunikační služby
 - GPS/Galileo systém – pseudosatelity

Legislativa:

Z dokumentu DOPLNĚK X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY, který má rozšířit předpis L2 – Pravidla létání, a který řeší právě problematiku létání s bezpilotními prostředky včetně modelů letadel, vyplývá následující rozdělení těchto systémů:

Podle druhu provozu:

- Provozované výhradně v dohledu pilota
- Provozované mimo dohled pilota

Podle hmotnosti:

- Bepilotní prostředky, jejichž max. vzletová hmotnost nepřekročí 7 kg
- Bepilotní prostředky, jejichž max. vzletová hmotnost je rovna nebo vyšší než 7 kg a nižší než 20 kg
- Bepilotní prostředky, jejichž max. vzletová hmotnost je rovná nebo vyšší než 20 kg

Podle způsobu využití:

- K rekreačním a sportovním účelům
- K leteckým pracím
- K experimentálním a výzkumným účelům

V doplňku X jsou dále uvedeny některé podmínky, které zde považuji za vhodné zde uvést. Vyplývá z něj např. že:

Vývoj, projektování, výroba, zkoušky ani údržba bezpilotních systémů nevyžaduje oprávnění ve smyslu zákona 49/1997 Sb. Stejně tak bezpilotní systémy nepodléhají procesu schválení typu dle stejného zákona. V některých (sériová výroba) případech může ÚCL na základě odůvodněné žádosti rozhodnout o použití postupu pro vydání oprávnění k projektování a/nebo k výrobě. V takovém případě je postupováno v souladu s použitelnými částmi předpisu L8/A, Letová způsobilost letadel – postupy.

Bezpilotní létající prostředky, jejichž maximální vzletová hmotnost nepřevyšuje 7 kg, nepodléhají registraci, piloti těchto prostředků rovněž nepodléhají registraci ani nemusí dokazovat schopnost řídit takový prostředek. K provozu těchto prostředků není třeba povolení od ÚCL a není jim vydáváno osvědčení o letové způsobilosti.

U bezpilotních prostředků, jejichž maximální vzletová hmotnost je rovna nebo vyšší než 7 kg a nižší než 20 kg, je již registrace nutná, a to jak v případě bezpilotního prostředku tak jeho pilota, ovšem pouze v případě, že je prostředek používán k leteckým pracím nebo pro experimentální a výzkumné účely. V takovém případě musí pilot prokázat schopnost bezpilotní prostředek bezpečně řídit. Rovněž je pro takový provoz bezpilotního prostředku nutné povolení úřadu a prostředek musí být opatřen registrační značkou.

Bezpilotní prostředky, jejichž maximální vzletová hmotnost je rovná nebo převyšuje 20 kg, podléhají, stejně jako jejich piloti, registraci vždy. Jejich projektování, stavba a počáteční letové zkoušky musí být dozorovány ÚCL. Stejně tak provoz těchto prostředků musí být povolen úřadem a prostředek musí být opatřen registrační značkou.

Bezpilotní systémy se nesmí provozovat v ochranných pásmech, pokud nemají udělenou výjimku od ÚCL. Jedná se zejména o ochranná pásma:

- a) podél nadzemních dopravních staveb;
- b) podél tras nadzemních inženýrských sítí;
- c) podél tras nadzemních telekomunikačních sítí;
- d) v okolí vodních zdrojů;
- e) podél hranic zvláště chráněných území;
- f) v okolí nemovitých kulturních památek, památkových rezervací, památkových zón, apod.;
- g) v blízkosti přírodních léčivých zdrojů a zdrojů nerostného bohatství.

Lety bezpilotních systému se nesmí provádět ve vzdálenosti menší než 5500 metrů od vztažného bodu letiště. Mimo to se lety nesmí provádět v řízeném prostoru. V obou případech může být udělena výjimka (v prvním případě provozovatelem letiště, ve druhém, příslušným stanovištěm řízení letového provozu).

V případě, že se jedná o provoz bezpilotního prostředku výhradně pod dohledem pilota, omezuje předpis maximální výšku letu modelu do 100 metrů nad zemí. Toto omezení může být změněno zvláštním povolením úřadu. Pilot smí létat s bezpilotním prostředkem do takové vzdálenosti, která mu umožní vyhodnotit případný konfliktní provoz, horizontální vzdálenost však nesmí překročit 700 metrů.

Důležitým požadavkem, který předpis klade na provoz bezpilotních systémů, je povinnost provozovatele sjednat pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou jeho provozem. Limit plnění činí u bezpilotních prostředků do 7 kg:

- 1 000 000 Kč u bezpilotního prostředku účastnícího se leteckého veřejného vystoupení
- 3 000 000 Kč u bezpilotního prostředku použitého k provozování leteckých prací

U bezpilotních prostředků, jejichž maximální vzletová hmotnost je rovna nebo převyšuje 7 kg, limity plnění činí:

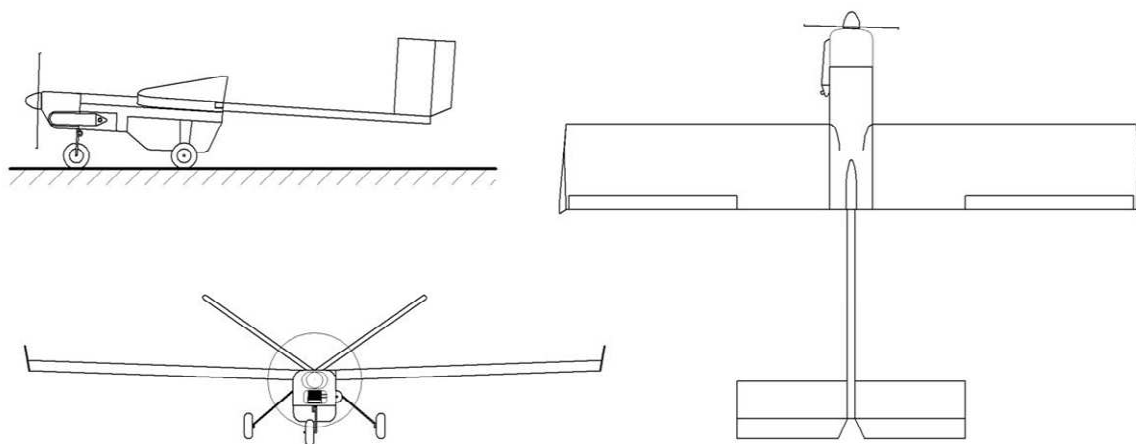
- 3 000 000 Kč u bezpilotního prostředku účastnícího se leteckého veřejného vystoupení
- 5 000 000 Kč u bezpilotního prostředku použitého k provozování leteckých prací

1. Cíle:

Cílem diplomové práce je teoretický návrh a praktické provedení bezpilotního létajícího prostředku. Ten má být schopen unést 1 kg nákladu (např. kameru nebo fotoaparát) a jeho výdrž má být minimálně 15 minut. V práci by měla být stanovena koncepce modelu a uvedeny základní aerodynamické a pevnostní charakteristiky bezpilotního prostředku. Dále by práce měla obsahovat konkrétní návrh konstrukce. Součástí má být také praktické provedení bezpilotního prostředku a ověření jeho použitelnosti za letu.

2. Koncepce modelu:

Koncepce bezpilotního prostředku vychází z požadavků na něj kladených. Mimo nosnosti, která byla stanovena na minimálně 1 kilogram a výdrže, která neměla být nižší než 15 minut, je podstatná také variabilita nákladu, který může model nést. Dalším cílem bylo dosáhnout vysokou stabilitu modelu a jeho snadnou ovladatelnost. Také jsem se snažil dosáhnout přiměřené letové rychlosti. Koncepci modelu jsem chtěl navrhnout tak aby umožnila jeho snadné a rychlé rozložení na jednotlivé části. Křídla jsou proto dělená a spojena duralovou trubkou. Trup je tvořen trupovou gondolou v přední části a odnímatelným nosníkem ocasních ploch tvořeným uhlíkovou trubkou. Ocasní plochy jsou řešeny jako motýlkové. Taková konstrukce umožní jednodušší transport a skladování modelu.



Obr. 2.1 – koncepce modelu

Prvním úkolem bylo navrhnout vhodnou velikost modelu. Tento návrh musel splnit protichůdné nároky, a to zachovat menší rozměry a splnit tím požadavek na skladnost a snadnější transport, nebo navrhnout model větších rozměrů, který by dával předpoklad pro lepší letové vlastnosti. Při návrhu velikosti jsem vyšel ze snahy dosáhnout rozumného plošného zatížení.

Tab. 2.1 – plošné zatížení podle kategorie modelu

Typ modelu	Plošné zatížení	
RC házedlo	10 – 20	g/dm ²
Větroň	20 – 60	g/dm ²
Cvičný motorový model	30 – 50	g/dm ²
Sportovní motorový model	40 – 60	g/dm ²
Akrobatický model	50 – 85	g/dm ²

V tabulce je vidět, jaké jsou obvyklé hodnoty plošného zatížení pro různé kategorie modelů. Protože model má být zároveň snadno skladovatelný a má se snadno přepravovat, nechtěl jsem překročit rozpětí 2000 mm. Aby byla zachována rozumná štíhlost křídla, zvolil jsem hloubku 300 mm. Tím je dána štíhlost křídla 6,6 a plocha 60 dm² (viz. Kapitola křídlo). Na základě hmotností jiných modelů podobné kategorie a rozpětí jsem odhadl hmotnost prázdného modelu okolo 3500 g s nákladem potom 4500 g. Plošné zatížení modelu je dáno vztahem:

$$\text{plošné zatížení} = \frac{m}{S} \quad (2.1)$$

Kde:

m hmotnost modelu [g]
S plocha křídla [dm²]

Po dosazení pro prázdný model:

$$\frac{3500}{60} = 58,333 \text{ g/dm}^2$$

Při zavěšení 1 kg nákladu:

$$\frac{4500}{60} = 75 \text{ g/dm}^2$$

Další rozměry a poměry mezi jednotlivými částmi konstrukce modelu byly navrženy podle statistiky různých modelů zveřejněných v odborných časopisech. Většinou se jednalo o cvičné modely.

Z odhadnuté hmotnosti a plochy jsem spočítal přibližné hodnoty rychlosti modelu, aby bylo možno určit hodnoty Reynoldsova čísla. Rychlosti jsem počítal jak pro prázdný, tak pro zatížený model, při součinitelích vztlaku od 0,2 do 1,4. Pro výpočet jsem použil vztah:

$$v = \sqrt{\frac{2 \times m \times g}{\rho \times S \times c_l}} \quad (2.2)$$

Kde:

v	Rychlost	[m*s ⁻¹]
g	Gravitační zrychlení	9,80665 [m*s ⁻²]
ρ	Hustota vzduchu	1,2255 [kg*m ³]
c _y	Součinitel vztlaku	0,2 – 1,4 [1]

V tabulce 3 a 4 jsou dále uvedeny hodnoty Reynoldsova čísla pro křídlo a ocasní plochy, určené ze vztahu:

$$Re = 69000 \times v \times b \quad (2.3)$$

Kde b představuje charakteristický rozměr, kterým je hloubka křídla a ocasních ploch.

Hloubka křídla	0,3 m
Hloubka ocasních ploch	0,2 m

Tab. 2.2 – rychlosti a Re pro prázdný model

Součinitel vztlaku c_y	Rychlost [$m \cdot s^{-1}$]	Re - křídlo	Re – ocasní plochy
0,2	21,61	447232	298154
0,4	15,28	316240	210827
0,6	12,47	258209	172139
0,8	10,80	223616	149077
1,0	9,66	200008	133339
1,2	8,82	182582	121721
1,4	8,17	169038	112692

Tab. 2.3 – rychlosti a Re pro model zatížený 1 kg nákladu

Součinitel vztlaku c_y	Rychlost [$m \cdot s^{-1}$]	Re - křídlo	Re – ocasní plochy
0,2	24,50	507113	338075
0,4	17,32	358583	239055
0,6	14,14	292782	195188
0,8	12,25	253556	169038
1,0	10,96	226788	151192
1,2	10,00	201028	138019
1,4	9,26	191671	127780

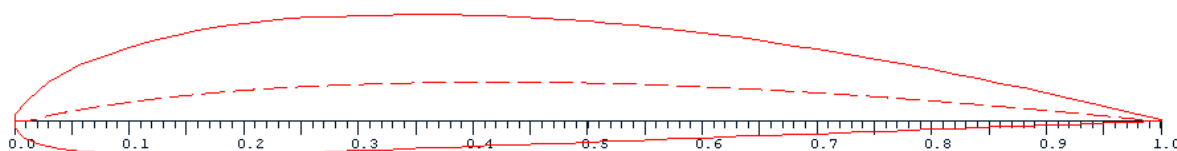
2.1 Křídlo:

Zásadní vliv na výsledné letové charakteristiky modelu má návrh křídla. Cílem je dosáhnout co největšího vztlaku, při pokud možno co nejnižším odporu. Na konstrukci křídla závisí mimo výkonů modelu také jeho stabilita a řiditelnost. Je třeba najít vhodný kompromis mezi všemi požadovanými vlastnostmi a navrhnout křídlo tak, aby v závěru celý model co nejlépe mohl plnit úkoly, pro které byl konstruován. Konstrukce křídla je rovněž podřízena nárokům na pevnost křídla. Mým cílem bylo navrhnout křídlo tak, aby byl model stabilní a dobře řiditelný. V konstrukci křídla jsem se snažil o jednoduchost tak, aby jej bylo možno přesně a rychle postavit i v jednodušších podmínkách, které poskytuje domácí dílna.

2.1.1 Profil křídla:

Největší význam pro aerodynamické charakteristiky křídla má volba profilu. Ovlivňuje se jím odpor i vztlak křídla a má vliv na momentové charakteristiky. Mimoto profil ovlivňuje i konstrukci křídla, především svou tloušťkou, na které závisí použitelná výška nosníku. Těmčí profily mají nižší odpor a jsou lépe obtékány při nižších Reynoldsových číslech. Naproti tomu ale křídlo vychází těžší, protože nižší nosník musí být pro přenos stejného ohybového momentu mohutnější.

Pro svůj model jsem použil profil CLARK Y. Profil byl navržen v roce 1922 Virginieusem E. Clarkem. Zvolil jsem tento profil, protože se osvědčil v mnoha modelech. Jeho charakteristiky při předpokládaných letových režimech jsou srovnatelné s jinými běžně pro letecké modely používanými profily. Svou tloušťkou poskytuje dostatek prostoru pro zástavbu nosníku křídla a rovněž umožňuje umístit do křídla serva ovládaní křidélek. Jeho velkou výhodou je, že velkou část spodního obrysu tvoří přímka, což výrazně usnadňuje stavbu křídla.



Obr. 2.2 – profil CLARK Y

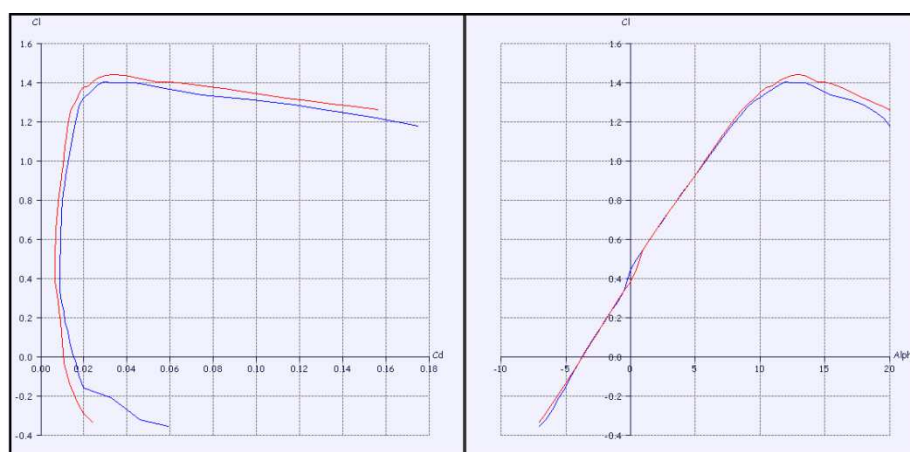
Základními geometrickými charakteristikami tohoto profilu jsou:

<u>veličina</u>	<u>výpočet</u>	<u>Hodnota</u>
Poměrná tloušťka profilu:	$\bar{d} = \frac{d}{b} \times 100$	11,71 %
Poměrná poloha největší tloušťky profilu	$\bar{x}_d = \frac{x_d}{b} \times 100$	28 %
Poměrné prohnutí profilu	$\bar{f} = \frac{f}{b} \times 100$	3,43 %

Poměrná poloha největšího prohnutí profilu

$$\bar{x}_f = \frac{x_f}{b} \times 100 \quad 42 \%$$

Podle odhadnutých rychlostí se budou hodnoty Reynoldsova čísla během provozu pohybovat přibližně mezi 200000 až 500000. Vztlakové čáry a poláry profilu pro hodnoty $Re = 250000$ a 500000 jsou na obr. 5. Je z nich patrné, že maximální součinitel vztlaku, kterého profil dosáhne je $c_l = 1,4$ pro $Re = 250000$. Z poláry profilu lze určit součinitele vztlaku při optimálním úhlu náběhu. Je to Přibližně $c_l = 0,9$ při úhlu náběhu $4,5^\circ$.

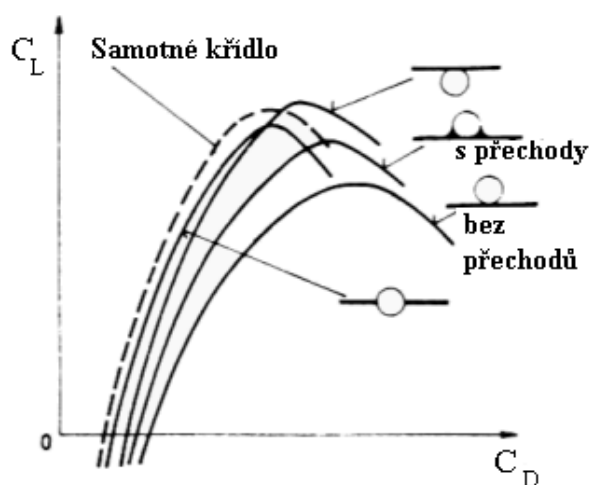


Obr. 2.3 – polára a vztlaková čára profilu CLARK Y pro $Re = 250000$ (modře) a $Re = 500000$ (červeně)

2.1.2 Umístění křídla vzhledem k trupu:

Model je koncipován jako hornokřídový. Toto uspořádání má několik výhod. U hornokřídových letounů je interferenční odpor mezi křídlem a trupem nižší než u ostatních koncepcí a dosahují vyšších součinitelů vztlaku. Hornoplošné uspořádání má také příznivý vliv na stabilitu letounu.

Polohu křídla vzhledem k trupu dále určuje úhel nastavení křídla. Je to úhel,



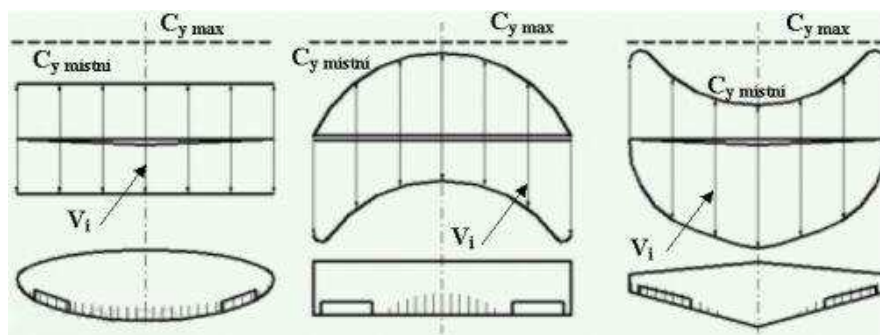
Obr. 2.4 vliv polohy křídla na poláru letounu

který svírá tětíva profilu s podélnou osou letadla. Tento úhel se obvykle určuje tak, aby byl zajištěný co nejnížší odpor při podmínkách letu typických pro daný typ letounu. Úhel nastavení křídla spolu s úhlem nastavení vodorovné ocasní plochy má také zásadní vliv na podélnou stabilitu (což je zmíněno v kapitole 2.7). Já jsem však při svém návrhu vycházel z hodnot obvyklých pro RC modely letadel, které jsem získal z řady výkresů zveřejňovaných v odborných časopisech. Pro cvičné hornokřídle modely se volený úhel nastavení křídla pohybuje nejčastěji mezi $1 - 3^\circ$. Konečná velikost úhlu nastavení křídla byla dána tím, že křídlo bylo na trup usazeno tak, aby rovná spodní část profilu byla rovnoběžná s osou trupu. Úhel mezi tětivou profilu a osou trupu pak vychází na 2° .

2.1.3 Geometrické charakteristiky křídla:

Každý parametr, charakterizující tvar křídla má na jeho výsledné vlastnosti určitý vliv. Zde je shrnutí těch základních:

- Vliv štíhlosti křídla:
 - Čím je štíhlost křídla menší, tím větší úhel náběhu potřebujeme k dosažení určitého součinitele vztlaku
 - Čím je štíhlost křídla větší, tím větší je (při stejné ploše křídla) ohybový moment u kořene křídla
 - Štíhlost nemá podstatný vliv na maximální dosažitelný vztlak
- Vliv půdorysu křídla:
 - Křídlo s eliptickým půdorysem má nejmenší indukovaný odpor
 - Křídlo s eliptickým půdorysem má nejhorší vlastnosti při přetažení
 - Křídlo s obdélníkovým půdorysem má nejlepší vlastnosti při přetažení
 - Křídlo s obdélníkovým půdorysem má nejvyšší indukovaný odpor
 - Křídlo s lichoběžníkovým půdorysem vychází nejlehčí
 - Šípová křídla jsou vhodná pro rychlá letadla
 - Šípová křídla mají špatné vlastnosti při přetažení



Obr. 2.5 – vliv půdorysu na vlastnosti křídla

Půdorys křídla má tvar obdélníku. Tento tvar křídla má (jak bylo uvedeno výše) oproti jiným tvarům výhodu v tom, že při přetažení se proudnice začínají odtrhávat nejprve v blízkosti trupu, a tím zůstává zachována ovladatelnost pomocí křidélek. Podstatná výhoda spočívá také ve snadnější stavbě. Obdélníkový půdorys křídla se obvykle využívá u pomalejších letadel. Nevýhodami tohoto půdorysného tvaru jsou potom vyšší indukovaný odpor a také vyšší hmotnost, než u lichoběžníkového křídla stejné plochy. Hlavními parametry křídla jsou:

Rozpětí křídla: 2000 mm

Hloubka křídla: 300 mm

Z těchto hodnot vychází teoretická plocha křídla (včetně částí zakrytých trupem) S :

$$S = l \times b \quad (2.4)$$

Po dosazení:

$$2000 \times 300 = 600000 \text{ mm}^2$$

Štíhlost křídla zásadně ovlivňuje indukovaný odpor křídla. Čím větší je štíhlost křídla, tím menší je indukovaný odpor. Štíhlost navrženého křídla je:

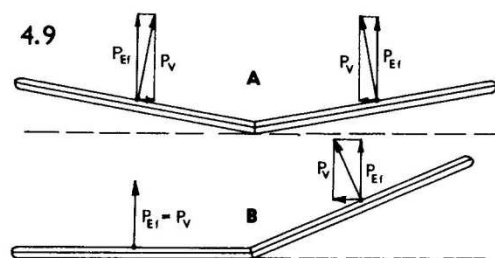
$$\lambda = \frac{l^2}{S} \quad (2.5)$$

Po dosazení:

$$\frac{2000^2}{600000} = 6,666$$

Z použití obdélníkového křídla dále vyplývá, že zúžení je rovno 1 a že střední aerodynamická hloubka křídla je rovna 300 mm.

Křídlo není geometricky ani aerodynamicky kroucené. Na křídle je jednoduché vzepětí o velikosti 2° . Toto vzepětí má příznivý vliv na příčnou stabilitu modelu. Princip vlivu vzepětí na stabilitu letounu je zřejmý z obrázku 8. Pokud není letoun nakloněn, rozkládá se vztlak na obou křídlech stejně, je tedy v rovnováze a model setrvává v této poloze (obr. 8-A). Pokud dojde k naklonění modelu na některou stranu, bude se



Obr. 2.6 – vzepětí modelu

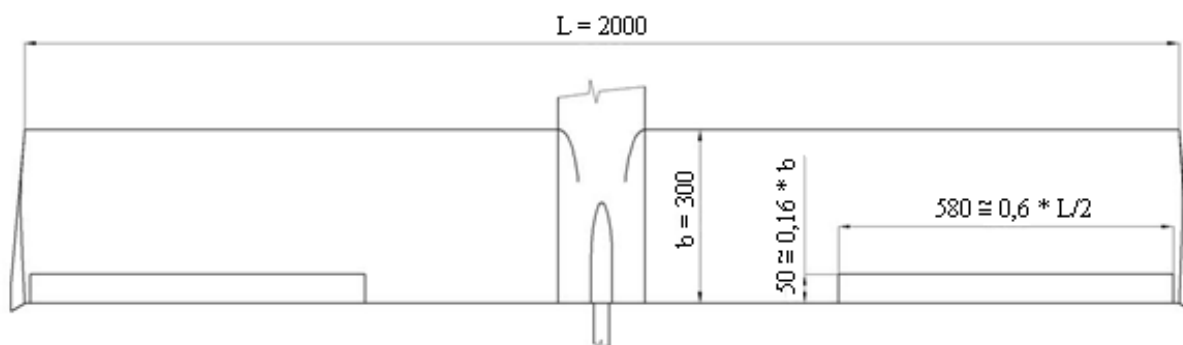
vztlak rozkládat na každé polovině křídla rozdílně (obr. 8-B). Složka vztlaku směřující vzhůru bude větší u křídla, které je nakloněno dolů, a tedy svírá s vodorovnou rovinou menší úhel. Rozdíl svislých složek vztlaků vyvolá moment, který bude křídlo vracet do původní polohy. U cvičných modelů bývá vzepětí často i větší, v případě navrhovaného letounu však není možno použít většího vzepětí, protože spojovací trubka křídel je již příliš blízko okraji obrysu profilu křídla.

2.1.4 Křídélka:

K příčnému řízení modelu jsou využita křídélka. Jejich účelem je zajistit možnost změny úhlu příčného sklonu modelu při obratech, nebo vyrovnaní nežádoucího náklonu modelu. Ve všech letových režimech musí zajistit vyvození dostatečného klonivého momentu tak, aby bylo model možné udržet ve správné poloze při letu minimální rychlostí před přistáním, a aby byl model dostatečně příčně řiditelný při vyšších rychlostech.

Velikost křidélek vychází z doporučení v literatuře [12]. Statisticky se dá říct, že obvyklá velikost křidélek u RC modelů letadel se pohybuje okolo 8 – 12% plochy křídla. Výjimku

tvoří modely pro tzv. 3D akrobacii, u nichž je plocha křidélek výrazně větší. Velikost a umístění křidélek je patrné z obrázku.



Obr. 2.7 – velikost křidélek

Plocha křidélek je:

$$S_{kř} = 2 \times b_{kř} \times l_{kř} \quad (2.6)$$

Po dosazení:

$$2 \times 0,5 \times 5,8 = 5,8 \, dm^2$$

Poměr mezi plochou křídla a křidélek:

$$\frac{S_{kř}}{S_k} \times 100 = \frac{5,8}{60} \times 100 = 9,667 \, \%$$

Protože křídélko, které je vychýlené dolů, má větší odpor než křídélko vychýlené vzhůru, dochází u modelu k nežádoucímu zatáčivému momentu. Tento nepříznivý efekt je možné odstranit především dvěma způsoby. Prvním je využití tzv. Friseho křidélek, která mají speciálně tvarovanou přední část a jsou zavěšena tak, že při výchylce křídélka nahoru tato přední část vystupuje z obrysu křídla a vytváří tak přídavný odpor. Druhým způsobem je použití diferencovaných křidélek. V tomto případě je výchylka křídélka, které se vychyluje dolů, menší, než výchylka křídélka vychylujícího se nahoru. Na modelu je použito diferenciac křidélek, protože toto řešení se mnohem snáze realizuje. Způsobů provedení

diferenciace křidélek je několik. Mezi nejpoužívanější patří posunutí páky křidélka za osu otáčení, posunutí čepu táhla křidélka na servu nebo použití úhlové páky s úhlem menším než 90° .

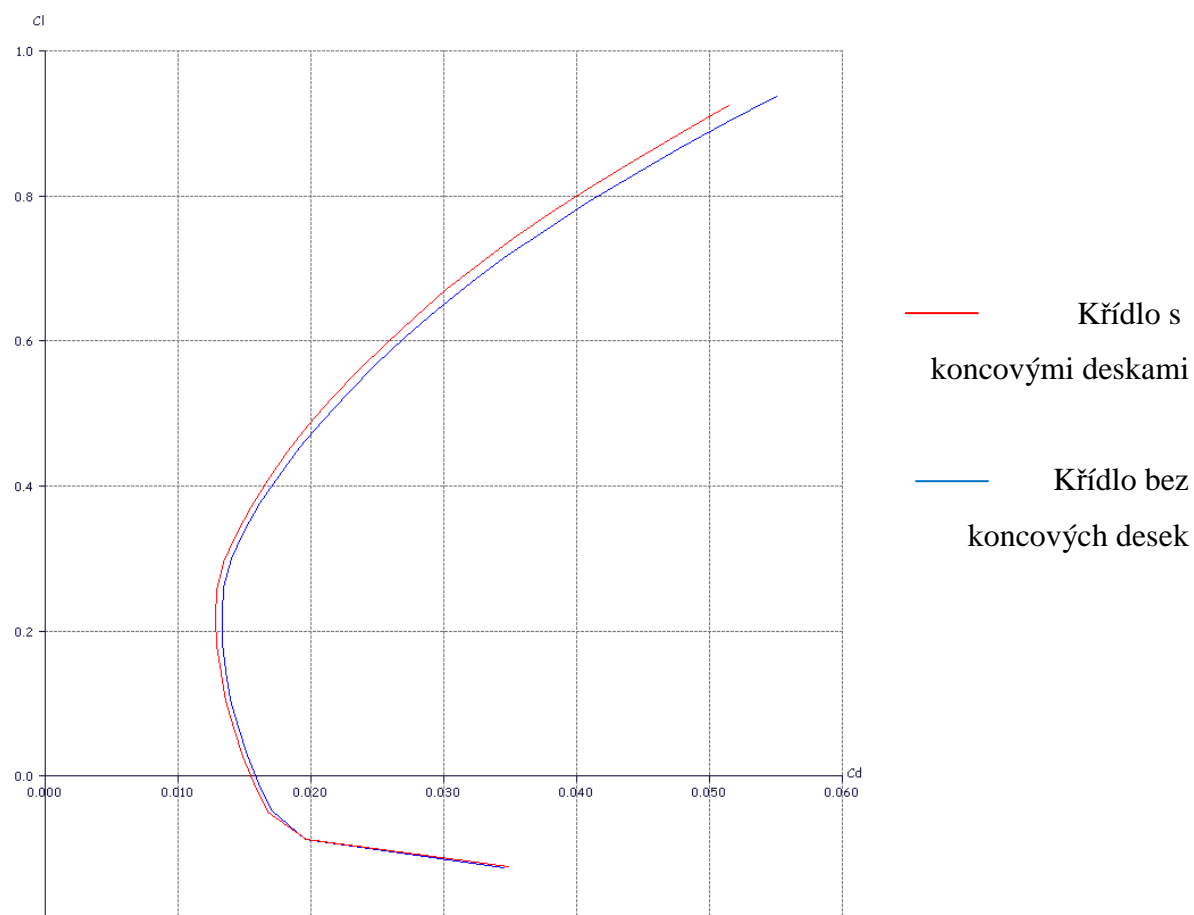
Asi nejjednodušším způsobem však je, pokud to vysílač umožňuje, použití elektronického mixování výchylek křidélek přímo ve vysílači. Velkou výhodou tohoto řešení je možnost jednoduše měnit velikost diferenciace podle potřeby. Právě tento způsob diferenciace křidélek je použit na modelu. Nastavená hodnota je taková, že křidélka se vychylují nahoru s dvojnásobnou výchylkou než dolů. Výchylky křidélek jsou:

- 22° nahoru
- 11° dolů

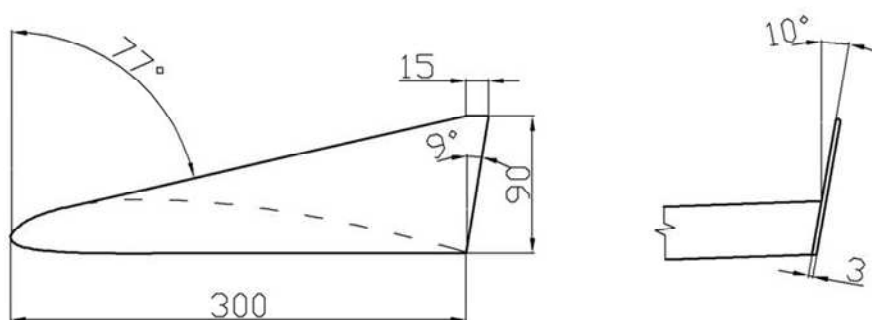
Programové vybavení vysílače a použití samostatného serva pro každé křidélko umožňuje sdružení funkce křidélek s funkcí klapek. Vzhledem k umístění křidélek na vnější straně křídel však tato možnost zřejmě nebude mít velké uplatnění.

2.1.5 Zakončení křídla:

Konce křídel jsou opatřeny koncovými deskami připomínajícími malé Winglety. Důvodem pro jejich použití bylo snížení indukovaného odporu křídla. Navržení hodného tvaru wingletu není jednoduché a obvykle používané rozměry, kdy výška wingletu odpovídá zhruba hloubce křídla, aby rovněž znesnadnili stavbu a transport. Proto jsem použil pouze trojúhelníkové koncové desky. Jejich účinnost není velká, byla však ověřena v programu XFLR5, kde je viditelné mírné snížení odporu křídla. Program XFLR5 je volně šiřitelný program, dostupný ze stránky <http://sourceforge.net/projects/xflr5/files/>, sloužící k analýze profilů, křídel a modelů, létajících při nízkých Reynoldsových číslech.



Obr. 2.8 – polára křídla s a bez koncových desek



Obr. 2.9 – rozměry koncových desek

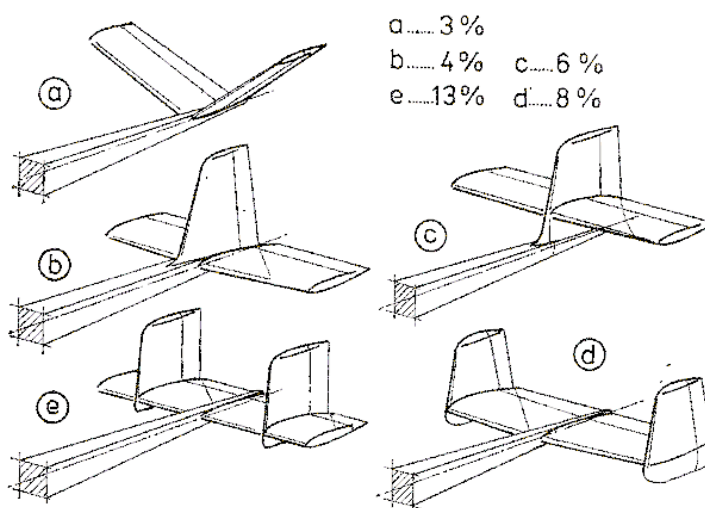
2.2 Ocasní plochy:

Na modelu jsem se rozhodl použít sdružené, tzv. motýlkové ocasní plochy. Toto uspořádání ocasních ploch má své odpůrce i své zastánce. U velkých letadel se toto uspořádání používá velmi výjimečně. Příkladem mohou být letadla jako ULL letouny Straton, větroň vsb-66 Orlice a další. U bezpilotních létajících prostředků je použití takovéto konstrukce častější. Mezi nimi to je například Hermes 450. U bezpilotních prostředků se často používá také obrácených motýlkových ploch jako např. u MQ-1 Predator. U RC modelů letadel se motýlkové ocasní plochy používají především pro větroně. U motorových je jejich výskyt spíše výjimečný.

Koncepce motýlkových ocasních ploch byla navržena ze dvou hlavních důvodů. Prvním důvodem je, že motýlkové ocasní plochy mají ze všech uspořádání ocasních ploch nejmenší odpor. Je to především díky nejmenšímu interferenčnímu odporu, který vzniká vzájemným ovlivněním

proudění těles, která jsou blízko sebe. Druhým důvodem je snížení hmotnosti ocasních

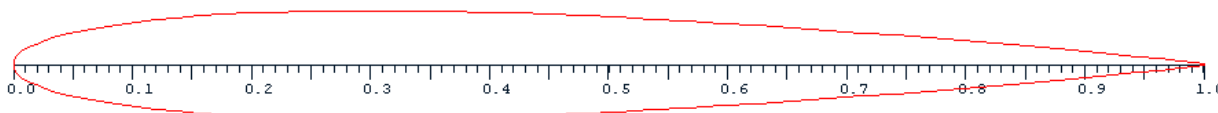
ploch. To je ovšem sporné, neboť motýlkové ocasní plochy musí mít k dosažení stejné účinnosti větší plochu a mimo to musí mít také mohutnější konstrukci, protože vytvářejí větší kroutící moment. Vyšší kroutící moment, který motýlkové ocasní plochy produkují ve funkci směrového kormidla, je jednou z hlavních nevýhod tohoto uspořádání, neboť zkrucuje trup a působí proti klonění letounu do zatáčky. Druhou nevýhodou je složitější ovládání, o kterém bude zmínka dále.



Obr. 2.10 – Vliv interference na odpor různého uspořádání ocasních ploch

2.2.1 Volba profilu:

Pro ocasní plochy jsem zvolil profil NACA 0009. Vzhledem k menší hloubce ocasních ploch je na nich dosahováno nižšího Reynoldsova čísla. V takovém případě je vhodnější použít tenčí profil. Při předpokládaném Reynoldsově čísle, pohybujícím se zhruba mezi 120 000 až 200 000, by byl vhodný profil o tloušťce 9 – 11%. Zvolený profil má dostatečnou tloušťku pro umístění serv přímo v ocasních plochách.



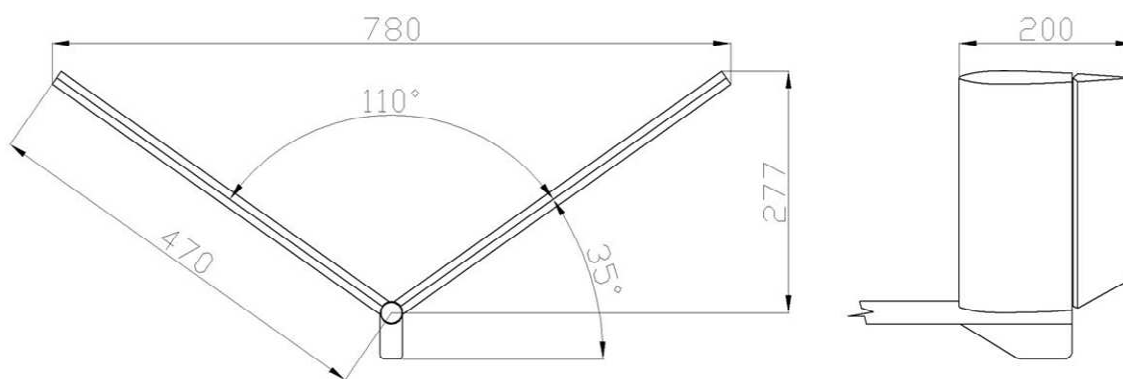
Obr. 2.11 – profil NACA 0009

Základními geometrickými charakteristikami tohoto profilu jsou:

<u>veličina</u>	<u>výpočet</u>	<u>Hodnota</u>
Poměrná tloušťka profilu:	$\bar{d} = \frac{d}{b} \times 100$	9 %
Poměrná poloha největší tloušťky profilu	$\bar{x}_d = \frac{x_d}{b} \times 100$	29,1 %
Poměrné prohnutí profilu	$\bar{f} = \frac{f}{b} \times 100$	0 %
Poměrná poloha největšího prohnutí profilu	$\bar{x}_f = \frac{x_f}{b} \times 100$	0 %

2.2.2 Geometrické charakteristiky ocasních ploch:

Stejně jako křídlo, tak i ocasní plochy mají obdélníkový půdorys. Hlavní rozměry ocasních ploch jsou patrné z obrázku 2.12.



Obr. 2.12 – Rozměry ocasních ploch

Celková plocha ocasních ploch je:

$$S_{OP} = 2 \times l_{OP} \times b_{OP} \quad (2.7)$$

Po dosazení:

$$2 \times 0,47 \times 0,2 = 0,188 \, m^2$$

Plocha průmětu ocasních ploch do půdorysné roviny je:

$$S_{OP \perp} = l_{OP \perp} \times b_{OP} \quad (2.8)$$

Po dosazení:

$$0,78 \times 0,2 = 0,156 \, m^2$$

Plocha průmětu ocasních ploch do nárysné roviny je:

$$S_{OP \parallel} = 2 \times l_{OP \parallel} \times b_{OP} \quad (2.9)$$

Po dosazení:

$$2 \times 0,277 \times 0,2 = 0,111 \, m^2$$

Protože motýlkové ocasní plochy mají menší účinnost než ocasní plochy klasického uspořádání, používá se přepočet, podle něhož se dá určit plocha vodorovné a svislé ocasní plochy klasického uspořádání o stejné účinnosti jako navržené motýlkové plochy. Takto přepočítanou plochu jsem využil pro výpočet těžiště. Tento přepočet má tvar:

$$S_{VOP} = S_{OP} \times (\cos \psi)^2 \quad (2.10)$$

Po dosazení:

$$0,188 \times (\cos 35)^2 = 0,126 \text{ m}^2$$

pro vodorovné ocasní plochy a

$$S_{SOP} = S_{OP} \times (\sin \psi)^2 \quad (2.11)$$

Po dosazení:

$$0,188 \times (\sin 35)^2 = 0,062 \text{ m}^2$$

pro svislé ocasní plochy.

Důležitým údajem, dávajícím představu o ocasních plochách je jejich mohutnost. Tento údaj vyjadřuje vlastnosti ocasních ploch nejen co se týče jejich velikosti, ale také jejich umístění vůči křídlu. Mohutnost vodorovných ocasních ploch je dána vztahem:

$$A_{VOP} = \frac{l_{VOP} \times S_{VOP}}{b_{sat} \times S} \quad (2.12)$$

Po dosazení:

$$\frac{0,875 \times 0,156}{0,3 \times 0,6} = 0,758$$

Mohutnost svislých ocasních ploch je dána vztahem:

$$A_{SOP} = \frac{l_{SOP} \times S_{SOP}}{l \times S} \quad (2.13)$$

Po dosazení:

$$\frac{0,875 \times 0,111}{2 \times 0,6} = 0,081$$

V obou rovnicích jsem pro výpočet mohutnosti použil plochu průmětu ocasních ploch do bokorysné a nárysné roviny. Ze statistiky vyplývá, že mohutnosti ocasních ploch pro motorové modely se obvykle pohybují v rozmezí 0,29 až 0,83 pro VOP a 0,04 až 0,08 pro SOP. Vyšší hodnoty se volí u akrobatických modelů a někdy také u cvičných modelů. Hodnoty mohutností ocasních ploch se blíží k horním hodnotám používaných mohutností. Je to proto, že jak již bylo uvedeno dříve, jsou motýlkové ocasní plochy méně účinné. Pokud by se do vztahů 2.12 a 2.13 pro výpočet mohutností dosadily hodnoty ploch přepočítané podle vzorců 2.10 a 2.11, byly by mohutnosti:

$$\frac{0,875 \times 0,126}{0,3 \times 0,6} = 0,613$$

Pro vodorovnou ocasní plochu a:

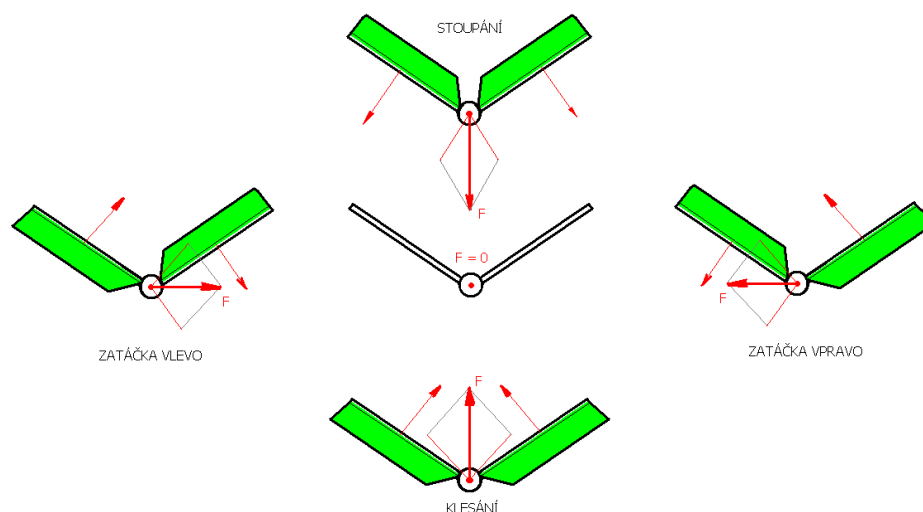
$$\frac{0,875 \times 0,062}{2 \times 0,6} = 0,045$$

Pro svislou ocasní plochu. Zde je vidět, že mohutnost ve funkci svislé ocasní plochy, se blíží k dolní hranici běžně používaných mohutností u ocasních ploch modelů.

2.2.3 Řízení ocasních ploch:

Nevýhodou u motýlkových ocasních ploch je určitá složitost řízení, protože obě kormidla musí fungovat jako směrovka i jako výškovka najednou. Aby bylo řízení v obou osách zajištěno, je nutno použít buďto mechanické nebo elektronické mixování výškovky a směrovky. Protože elektronický mix pro motýlkové ocasní plochy je v dnešní době již běžně obsažen i ve vysílačích nižších tříd, je pro řízení modelu využít právě tento způsob. Základní výchylky při řízení modelu jsou zřejmé z obrázku 15. Souhlasné vychýlení kormidel na obou

polovinách nahoru nebo dolů zastává funkci výškovky, rozdílná výchylka na obou polovinách zastává funkci směrovky (levá dolů X pravá nahoru, pro zatáčku vlevo, levá nahoru X pravá dolů pro zatáčku vpravo).



Obr. 2.13 – funkce řízení motýlkových ocasních ploch

Kormidla:

Velikost kormidel se podle typu modelů volí pro vodorovné ocasní plochy mezi 22 – 30 % střední hloubky a u svislé ocasní plochy je to obvykle do 33 % střední hloubky. Na modelu jsem zvolil pro kormidla hodnotu o něco vyšší. Je to proto, že sdružením funkce výškovky a směrovky se snížila maximální možná výchylka kormidla v jednotlivých funkcích a k dosažení stejné účinnosti kormidel je tedy nutná větší plocha. Hloubka kormidel je 70 mm, což odpovídá 35 % celkové hloubky ocasních ploch. Výchylky kormidel v jednotlivých funkcích i maximální společné výchylky jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 2.4 – velikost výchylek kormidel

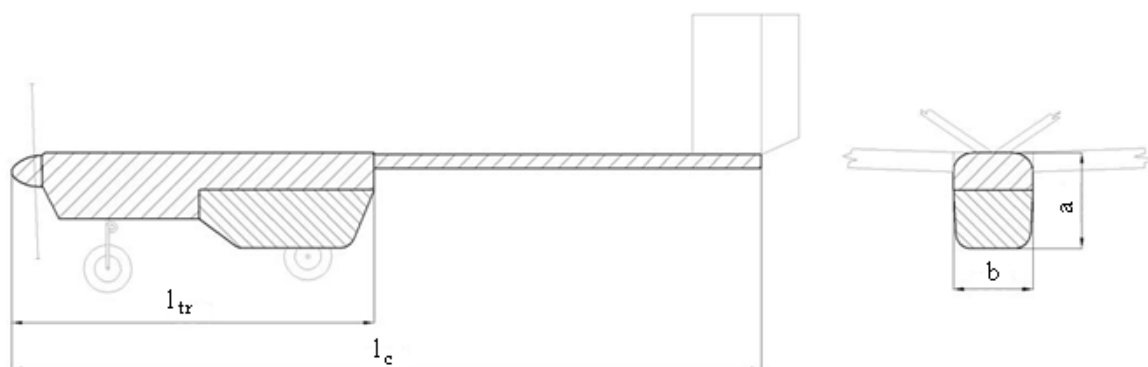
Funkce	Výchylka
Výškovka	+20° / -15°
Směrovka	+/- 20°
Max. společná výchylka	+40° / -35°

2.3 Trup:

Trup modelu slouží především jako spojovací článek mezi křídlem, ocasními plochami, motorem, podvozkem a neseným zatížením. Trup jsem se snažil navrhnout tak, aby bylo náklad možno umístit pokud možno v místě těžiště tak, že náklad o různé hmotnosti polohu těžiště neovlivní. Trup je rozdělen na dvě části. K přední části je upevněno křídlo, pohonná jednotka, přistávací zařízení a je v ní vytvořen prostor pro umístění nákladu. Zadní část trupu je nahrazena nosníkem, k němuž jsou upevněny ocasní plochy. Tuto koncepci jsem zvolil především proto, že model by měl být schopen unést i poměrně široký náklad. Zadní část trupu by tak byla zbytečně široká a těžká. Rovněž zabudovat do trupu nosník je stavebně jednodušší, než stavět celou zadní část trupu stejnou technologií jako přední. Posledním důvodem je, že takto provedený nosník ocasních ploch je možno jednoduše demontovat pro snadnější transport a skladování.

Zásadními parametry ovlivňujícími odpor trupu jsou plocha příčného průřezu s_{tr} a štíhlost trupu λ_{tr} . U navrženého modelu se náklad umísťuje pod trup a je překryt vyklisovaným krytem. Protože se počítá s tím, že model ponese náklad různého tvaru a funkce, měl by se také kryt nákladového prostoru přizpůsobovat jednotlivým variantám. Existuje proto více možností, jaký bude konečný profil trupu, než tato jediná, která je zde zmíněna. Tato však představuje mezní rozměr, který by neměl být překročen.

Největší výška trupu	a_{tr}	180 mm
Největší šířka trupu	b_{tr}	150 mm
Délka trupové gondoly	l_{tr}	684 mm
Délka trupu celkem	l_c	1414 mm



Obr. 2.14 – Řez trupem

Štíhlost trupu vyjadřuje poměr mezi jeho délkou a průměrem (u kruhového průřezu) nebo součtem výšky a šířky (u obdélníkového průřezu). Pokud je letoun konstruován s nosníkem ocasních ploch, počítá se štíhlost trupu z délky bez tohoto nosíku. Pro štíhlost trupu je dán vztah:

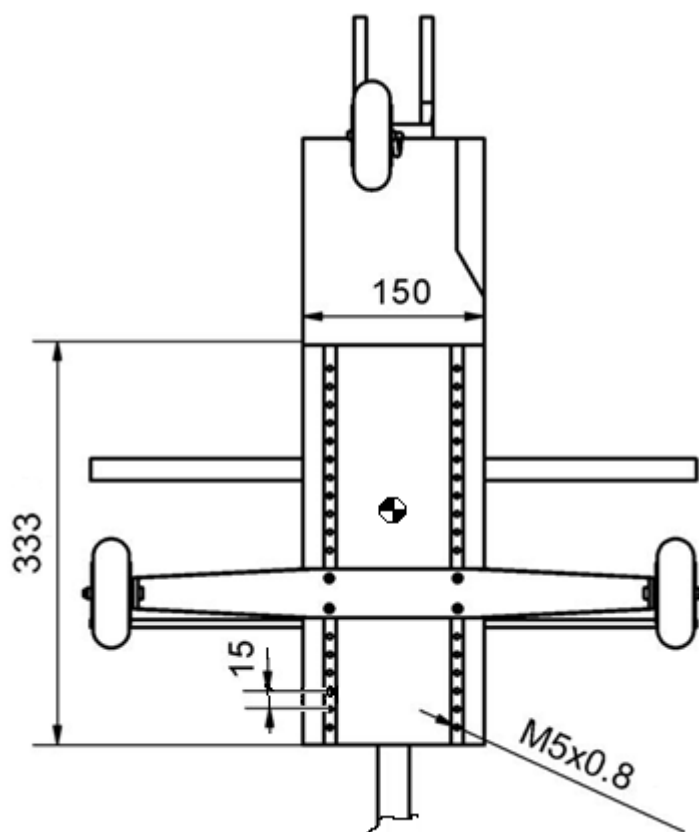
$$\lambda_{tr} = \frac{2 \times l_{tr}}{a + b} \quad (2.14)$$

Po dosazení:

$$\frac{2 \times 684}{180 + 150} = 3,927$$

Běžné hodnoty štíhlosti u malých letadel se pohybují mezi 4 až 5. U letounů s nosníkem ocasních ploch by neměla štíhlost klesnout pod 3.

Nejvhodnějším tvarem průřezu trupu by byl průřez kruhový, protože má nejmenší povrch. Větší povrch trupu má větší odpor vlivem tření částic vzduchu. Kruhový průřez je však náročnější na stavbu a také se obtížněji využívá vnitřní prostor. Navržený průřez tvoří obdélník se zaoblenými hranami v horní části. Vrchní strana trupu pomalu přechází do obrysu profilu křídla. Zaoblení vrchních hran trupu má stejnou velikost jako je tloušťka profilu. Za křídlem je trup nahrazen uhlíkovou trubkou, která tvoří nosník ocasních ploch. Snižuje se tím hmotnost zadní části trupu a také odpor vznikající třením částic vzduchu o povrch trupu.



Obr. 2.15 – prostor pro umístění nákladu

Prostor pro umístění nákladu je umístěn ve spodní části trupu tak, aby umístění nákladu neovlivnilo polohu těžiště. Náklad se upevňuje na dva nosníky z hliníkové slitiny. V každé z nich je vyvrtáno 17 děr, ve kterých jsou vyřezány závity M5x0,8. Díky tomu je možno jednoduše upevnit k modelu různé varianty nákladu.

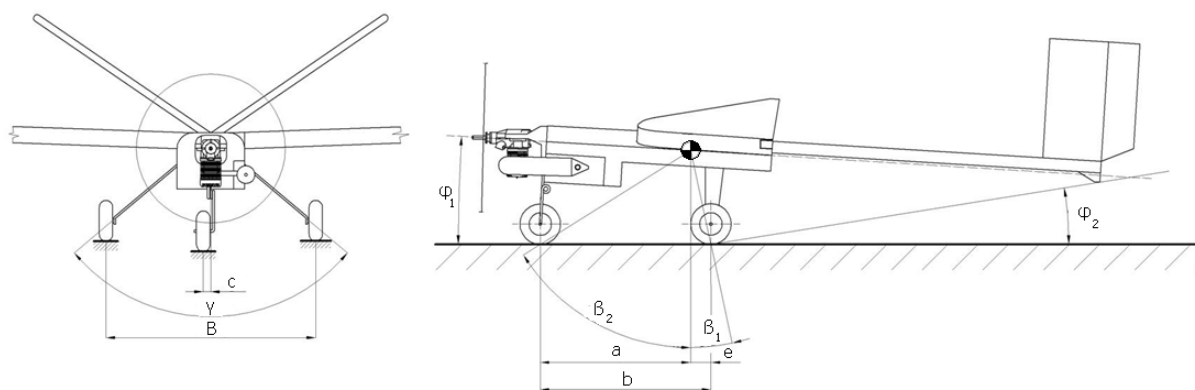
2.4 Přistávací zařízení:

Pro model jsem zvolil podvozek s příďovým kolem, tzv. obrácený tricykl. Tento typ uspořádání podvozku jsem zvolil z proto, že oproti podvozku s ostruhovým kolem (normální tricykl) se vyznačuje větší stabilitou při pohybu po zemi. Toto je podstatné vzhledem k tomu, že podvozek modelu není řízený a korigovat výchyly z přímého směru je možné až po dosažení rychlosti, zajišťující dostatečnou účinnost kormidel. Dalším důvodem je, že v případě pohybu po nerovném povrchu, přičemž provoz na takovýchto plochách se dá vzhledem k určení modelu a rozšířenosti modelářských ploch v ČR očekávat, má model s podvozkem s ostruhovým kolem sklony k zakopávání a přepadávání „na hlavu“. Tyto problémy u podvozku s příďovým kolem odpadají. Podvozek jsem se rozhodl navrhnout jako neřízený. Vedla mě k tomu především obtížná konstrukce náhonů řízení natočení příďového kola způsobena použitím motýlkových ocasních ploch, díky nimž musí být funkce směrového kormidla spřažena s funkcí výškového kormidla, což je provedeno elektronickým mixováním kanálů ve vysílači. Mimo to jsou serva kormidel umístěna přímo v ocasních plochách. Řešením by bylo použití zvláštního kanálu pro ovládání řízení podvozku. Takovéto řešení je ovšem zcela nevhodné díky nárůstu hmotnosti, ceny a především nároků na pilota. Použití neřízeného podvozku je u RC modelů letadel poměrně běžné a v praxi osvědčené. V zájmu jednoduchosti konstrukce není podvozek zatahovací. To s sebou přináší také úsporu hmotnosti a především úsporu finančních prostředků.

2.4.1 Geometrické parametry přistávacího zařízení:

Protože se u modelu počítá s možností umístit do něj náklad různých rozměrů a hmotností, může docházet k posunu jeho těžiště a to především ve vertikálním směru. Na Obrázku XXX

je zobrazeno těžiště prázdného modelu bez nákladu a paliva. V tomto případě je těžiště ve své zadní krajní poloze a ve své nejvyšší poloze. Je to z toho důvodu, že v případě posunu těžiště směrem dolů se geometrické charakteristiky podvozku ovlivňující jeho chování mění k lepšímu. Tato poloha tedy vystihuje nejkritičtější polohu těžiště vzhledem k vlastnostem přistávacího zařízení.



Obr. 2.16 – Geometrické parametry podvozku

Tab. 2.5 – geometrické charakteristiky podvozku

Kóta	Rozměr	Jednotka
a	333	mm
b	378	mm
B	465	mm
c	17	mm
e	45	mm
β₁	12	°
β₂	58	°
φ₁	4	°
φ₂	9	°
γ	100	°

Důležitými parametry ovlivňujícími chování letounu při pohybu po zemi jsou rozvor a rozchod kol. Rozchod kol je vzdálenost kol podvozku v nárysu, rozvor je vzdálenost kol v bokorysu letadla. Se zvětšující se velikosti jak rozchodu, tak rozvoru kol, se stabilita

letounu zvyšuje. Nelze však obecně říci, že čím jsou hodnoty vyšší, tím lépe. Obvykle volené hodnoty rozvoru se pohybují mezi 30 – 40 % délky trupu letounu. Rozvor kol modelu představuje 39 % délky trupu modelu. V případě rozchodu kol je obvyklá velikost rovna 20 – 30 % rozpětí. Rozchod kol modelu představuje 23 % z rozpětí modelu. Je tedy vidět, že základní parametry navrženého podvozku odpovídají běžně používaným hodnotám.

Z polohy hlavního podvozku 45 mm za těžištěm modelu je určena velikost úhlu vyložení hlavního podvozku $\beta_1 = 12^\circ$. Ze statistiky vyplývá, že tento úhel se obvykle volí mezi 10 až 25°. Rovněž ze statistiky vyplývá, že součet úhlů $\beta_1 + \beta_2$ se obvykle pohybuje mezi 80 až 90°. Z této hodnoty se vychází při volbě úhlu β_2 . V případě navrženého modelu je úhel $\beta_2 = 58^\circ$. V takovém případě je součet úhlů $\beta_1 + \beta_2$ roven pouze 70°. Menší úhel má negativní vliv na stabilitu při pohybu po zemi. Pohyb těžiště směrem dolů po zavěšení nákladů však bude mít za následek zvětšení tohoto úhlu a tím zvýšení stability.

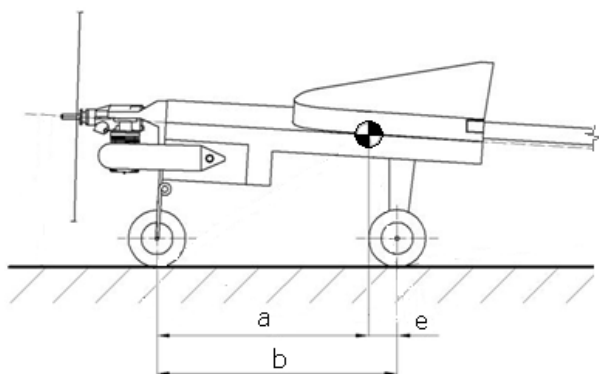
Úhel postoje letounu na zemi $\varphi_1 = 3,5^\circ$ ovlivňuje rychlost odlepení předového podvozku a obvykle se volí v rozmezí 2 – 5°. Na modelu je použitím vyšší předové nohy docíleno také zajištění bezpečné vzdálenosti konců listů vrtule od země. Úhel překlopení $\varphi_2 = 9^\circ$ svou velikostí zajišťuje, že při přistání na hlavní podvozek vždy vznikne moment, který model překlopí zpět na předový podvozek, což vyplývá z podmínky $\beta_1 \geq \varphi_2$.

Dalším sledovaným parametrem u přistávacích zařízení letounů je rozložení hmotnosti mezi hlavní a předový podvozek. Hlavním důvodem pro určování této hodnoty je posouzení chování letounu při řízení směru předovým kolem. Při nízkém zatížení předového kola (asi pod 5%) se říditelnost snižuje. Obvyklé rozložení hmotnosti se pohybuje okolo 8 – 15 %

hmotnosti letounu na předovém podvozku. Ačkoliv model nemá říditelný podvozek, pro úplnost zde tuto hodnotu uvedu.

$$x = \frac{a}{b} \times 100 = \frac{333}{378} \times 100 = 88,09\%$$

Kde x představuje zatížení hlavního podvozku.



Obr. 2.17 – Rozměry podvozku

Z výše uvedeného je zřejmé, že přední kolo modelu je zatíženo 11,1 % celkové hmotnosti letounu. Toto zatížení platí při těžišti v zadní poloze.

2.5 Pohonná jednotka:

Pro pohon modelu jsem použil spalovací motor, ačkoliv většina výhod by ležela na straně pohonu modelu elektromotorem. Důvodem pro volbu spalovacího motoru byly především náklady na pořízení. Ty ve srovnání s pohonem elektrickým vycházejí výrazně nižší. Rozdíl je také v hmotnosti, která také hovoří pro spalovací motor. Hlavní nevýhodou spalovacího motoru je pak především hluk, zplodiny a vibrace.

V dnešní době se v RC modelech letadel používají spalovací motory buďto benzínové, nebo se žhavicí svíčkou. Benzínové motory se vyrábějí s objemy od 20 cm³ a jsou určeny pro větší modely. Oproti motorům se žhavicí svíčkou je jejich provoz levnější a mají menší spotřebu. Mají však nižší výkon a jsou těžší než motory se žhavicí svíčkou stejného objemu.

Motory se žhavicí svíčkou se vyrábějí dvou nebo čtyřtaktní. Dvoutaktní motory mají jednodušší konstrukci, jsou spolehlivější a při stejném objemu mají asi 1,8x vyšší výkon. Pro pohon modelu jsem se rozhodl použít právě dvoutaktní motor se žhavicí svíčkou.

Objem motoru a jeho potřebný výkon jsem odhadl na základě údajů o řadě různých modelů. Běžně používaný objem motoru u cvičných a sportovních modelů o rozpětí okolo dvou metrů a hmotnosti okolo pěti kilogramů je mezi 10 – 15 cm³. Nejběžněji k dostání u nás jsou motory MVVS, které se vyrábějí v Brně a motory čínského výrobce ASP. Oba výrobci vyrábějí motory o objemu 10, 12 (MVVS 12,7) a 15 cm³. Porovnání výkonů jednotlivých motorů je v tabulce (uvedené hmotnosti jsou u motorů ASP včetně tlumiče výfuku a motorů MVVS bez něj).

Tab. 2.6 – charakteristiky různých motorů pro RC modely

Výrobce	MVVS	ASP	MVVS	ASP	MVVS	ASP
Objem [cm ³]	10	10	12,7	12	15	15
Max. výkon [kW]	1,33	1,68	1,69	1,85	1,84	2,10
Při otáčkách [min ⁻¹]	15 000	17 500	13 000	17 000	11 000	16 000
Hmotnost [g]	549	645	560	635	552	720

Konečná volba padla na motor ASP S91A II. K použití tohoto motoru mě vedly dva důvody. Prvním bylo, že motor byl okamžitě k odběru, motory ASP obou nižších kubatur byly na objednávku stejně jako motory MVVS. Druhým důvodem byl vysoký výkon motoru. V případě krizové situace za letu je výkonný motor výhodný. Nevýhodou naopak je vyšší hmotnost motoru, která na dlouhém rameni před těžištěm znehodnocuje lehkou stavbu ocasní části, která musí být dovažována pro zachování polohy těžiště.

Palivová instalace motoru je tvořena akrobatickou nádrží o objemu 450 ml, která je opatřena třemi hadičkami. Jedna slouží k přívodu paliva do karburátoru, druhá je použita k přetlakování nádrže z tlumiče výfuku a třetí slouží k plnění.

2.5.1 Žhavicí svíčka:

Žhavicí svíčka zapaluje směs paliva a vzduchu ve válci. Při startování motoru je žhavená z externího zdroje (napětí zdroje by mělo být 1,2 – 2 V), během chodu motoru pak vysokou teplotou spalování. Základními typy žhavicích svíček jsou:

- Super studená
- Studená
- Střední
- Teplá

Pro vyšší objemy motorů se používají studenější svíčky, se snižujícím se objemem motoru se používají střední nebo teplé svíčky. Pro použitý motor o objemu 15 cm³ je vhodná super studená nebo studená svíčka. Na motoru byla pro zálet použita univerzální svíčka ASP GP1.

2.5.2 Vrtule:

Průměr a stoupání vrtule se volí podle typu a objemu motoru a podle charakterů provozu modelu. Pro pomalé modely je vhodnější zvolit vrtuli většího průměru a menšího stoupání, naopak pro rychlé létající modely se používají vrtule o malém průměru a větším stoupáním. Pro použitý motor jsou doporučené vrtule (u vrtulí pro modelářské motory se tradičně udávají rozměry v palcích, proto jsem použil tyto jednotky):

Tab. 2.7 – doporučené rozměry vrtulí pro motor ASP A91

Typ provozu	Standardní / záběh	Rychlý model	Pomalý model
Rozměry vrtule [palce]	13 x 6	13 x 10	16 x 8 / 17 x 6
Rozměry vrtule [mm]	330 x 152	330 x 254	406 x 203 / 431 x 152

Na modelu byla použita vrtule Master Airscrew K-series o rozměru 13 x 6 (330 x 152 mm).

2.5.3 Palivo:

Pro modelářské motory se používá palivo složené z metylalkoholu a oleje. Olej se používá buď ricinový nebo syntetický. Syntetický olej lépe maže motor, ricinový zase lépe odvádí z motoru teplo a chrání jej před korozi. Je možné používat také kombinaci obou typů oleje. Výrobce motorů ASP zakazuje používat palivo, které obsahuje pouze syntetický olej. Obsah oleje v palivu je obvykle 20% u motorů s objemem do 7,5 cm³, u motorů s vyšším objemem bývá obsah oleje v palivu snížen na 15%.

Do paliva se někdy přidává také nitrometan, který stabilizuje motor při různých režimech chodu, znecitlivuje nastavení motoru (při obsahu do 5%) a při vyšších dávkách zvyšuje předstih motoru a tím i jeho výkon. Nevýhodou je, že způsobuje korozi dílů motoru. Obsah nitrometanu v palivu se obvykle pohybuje mezi 5 – 20%.

Při zkouškách modelu bylo použito palivo FAI HYPER složené ze 85% metylalkoholu a 15% ricinového oleje.

2.5.4 Vyosení motoru:

Aby se eliminoval vliv pracující vrtule na let modelu, je motor vyosen směrem dolů a doprava.

- Boční vyosení - Vrtulový proud je zkroucený, a proto dochází k šikmému ofukování SOP. Na ní pak vzniká přídatná síla. U pravotočivé vrtule tato síla působí doprava a model tedy při přidání plynu zatáčí doleva. Vyosením motoru doprava se sníží úhel náběhu SOP a tedy i boční síla. Navíc vyosením motoru vznikne boční složka tahu, která působí proti boční síle vznikající na SOP. Při určitém úhlu vyosení motoru budou momenty způsobené těmito silami v rovnováze a model nebude zatáčet.
- Podélné vyosení – při letu modelu udržuje VOP letoun v rovnováze tím, že vyvozuje vztlak působící směrem dolů, který vyrovnává klopivý moment křídla. Pokud se zvýší výkon motoru, zvětší se rychlost proudu vzduchu za vrtulí, a tím i výsledný vztlak na VOP. Model reaguje stoupáním. Mimoto u modelu hornoplošné koncepce působí tah pohonné jednotky na rameni vzhledem k aerodynamickému středu křídla, čímž opět při zvýšení výkonu nutí přejít model do stoupání. Při sklopení osy motoru dolů dojde ke zvýšení úhlu náběhu VOP a díky tomu záporný vztlak bude menší. Také vznikne svislá složka tahu motoru, vyrovnávající moment způsobující stoupání modelu.

Na základě statistik vyosení motorů u modelů zveřejněných v modelářských časopisech lze říci, že boční vyosení doprava mělo velikost od 0 do 3°, přičemž nejpočetněji byla zastoupena výchylka 2°. U podélného vyosení dolů se rovnoměrně vyskytují hodnoty od 0 do 5°. Nejvyšší hodnoty jsou použity u akrobatických modelů, nejvyšší u cvičných hornoplošných modelů. Na modelu bylo použito vyosení:

- 2° doprava
- 2° dolů

2.5.5 Příslušenství k motoru:

K provozu motoru se žhavicí svíčkou je potřeba příslušenství, bez kterého není provoz buďto možný vůbec, nebo je o poznání komplikovanější. Mezi ně patří:

- Nářadí pro manipulaci s motorem – pro manipulaci s motorem je zapotřebí nářadí:
 - Při provozu motoru – bez tohoto nářadí se nelze obejít, neboť jeho potřeba může nastat kdykoliv během provozu patří sem:
 - Klíč na žhavicí svíčku
 - Klíč na matici unášeče vrtule
 - Křížový šroubovák na vrtulový kužel
 - Při údržbě motoru
 - Imbusový klíč velikosti 2 a 3
 - Plochý šroubovák
- Žhavení- slouží pro žhavení vlákna svíčky během startování motoru. Po nastartování se žhavení odpojuje a vlákno je dále žhaveno vysokou teplotou, vznikající při spalování paliva. Pro žhavení je nutný zdroj žhavicího proudu a žhavicí koncovka pro připojení na žhavicí svíčku. Jako zdroj žhavení se používá:
 - Akumulátor o napětí 1,2 až 2 V
 - Olověný 6. nebo 12. V akumulátor s regulátorem napětí
- Tankování paliva – pro plnění nádrže modelu je možno použít některý z následujících způsobů:
 - Injekční stříkačkou (pouze pro malé objemy nádrže)
 - přetlakováním kanistru
 - mechanickým čerpadlem
 - elektrickým čerpadlem

Je vhodné, aby bylo možné použitým systémem tankování rovněž vyčerpat případné zbylé palivo z nádrže.
- Startování motoru – v modelářských prodejnách je možno zakoupit také elektrický startér, který výrazně usnadní práci při spouštění motoru. Není však k provozu motoru nutný.

2.6 Řízení modelu:

Řízení modelu kolem podélné, bočné i kolmé osy je zajištěno pomocí křidélek a motýlkových ocasních ploch. Do řízení modelu se zahrnuje také ovládání otáček motorů.

Model není vybaven žádnými vedlejšími orgány řízení, jako jsou vyvažovací a odlehčovací plošky. Velikosti řídících ploch a jejich výchylky byly již popsány v části věnované křídlu a ocasním plochám.

Model je ovládán pomocí modelářské RC soupravy. Kompletní souprava je složena z vysílače na zemi a přijímače, serv a napájecího akumulátoru na palubě modelu. V modelu je umístěno celkem 5 serv. Jedno je použito k ovládání karburátoru motoru, a po jednom servu má každé křídélko a každé kormidlo.

2.6.1 Požadavky na RC soupravu:

Tab. 2.8 – frekvence schválené pro provoz RC modelů

pásmo	Č. kanálu	MHz	pásmo	Č. kanálu	MHz
35 A	61	35,01	40 MHz	50	40,665
	62	35,02		51	40,675
	63	35,03		52	40,685
	64	35,04		53	40,695
	65	35,05		54	40,715
	66	35,06		55	40,725
	67	35,07		56	40,735
	68	35,08		57	40,765
	69	35,09		58	40,775
	70	35,1		59	40,785
	71	35,11		81	40,815
	72	35,12		82	40,825
	73	35,13		83	40,835
	74	35,14		84	40,865
	75	35,15		85	40,875
	76	35,16		86	40,885
	77	35,17		87	40,915
	78	35,18		88	40,925
	79	35,19		89	40,935
	80	35,2		90	40,965
35 B	182	35,82		91	40,975
	183	35,83		92	40,985
	184	35,84			
	185	35,85			
	186	35,86			
	187	35,87			
	188	35,88			
	189	35,89			
	190	35,9			
	192	35,91			

K řízení modelu by postačovala jednoduchá RC souprava, schopná ovládat čtyři funkce. Jediným omezením v tomto případě je nutnost použití mixování funkce směrovky a výškovky pro motýlkové ocasní plochy. Tuto funkci již má v sobě naprogramovanu většina dnešních vysílačů, případně je možno koupit tento mix jako příslušenství na plošném spoji, který se zapojí do modelu mezi přijímač a serva. K řízení křidélek jsou použity dvě serva. Takto provedené řízení křidélek je možno ovládat dvěma způsoby. Prvním způsobem je použití Y kabelu pro

spojení serv a ovládání jedním kanálem, druhým způsobem je použití jednoho kanálu pro každé servo křidélek a jejich mixování ve vysílači.

Ačkoliv, jak bylo uvedeno, by postačovala čtyř-kanálová RC souprava s možností mixování motýlkových ocasních ploch, rozhodl jsem se zvolit variantu kvalitnější šesti-kanálové počítačové RC soupravy. Zásadní výhodou tohoto řešení jsou široké možnosti, které nabízí programové vybavení takové to RC soupravy. Mix pro ovládání motýlkových ocasních ploch je u těchto souprav samozřejmostí. Oproti jiným způsobům mixování této funkce nabízejí možnost jednoduše nastavit velikost výchylek pro každou funkci zvlášť, a dokonce v obou směrech výchylky serva. Také umožňují nastavit poměr mixování. Další užitečnou funkcí je možnost řídit křídélka dvěma servy na oddělených kanálech a tyto kanály mezi sebou mixovat. Takto je možno opět nastavovat výchylky v obou směrech pro obě serva a tím dosáhnou diferenciace křidélek, kterou je dále možno snadno upravit podle potřeby. Dále takto provedené ovládání křidélek umožňuje jejich použití ve funkci klapky.

2.6.2 Frekvence a modulace RC souprav:

V dnešní době existuje několik způsobů přenosu a frekvenčních pásem pro přenos řídicího signálu mezi vysílačem a přijímačem. V poslední době hojně využívaným pásmem, na které přechází spousta pilotů modelů, je pásmo 2,4 GHz. Předpokládám, že v tomto pásmu bude proveden přenos videosignálu mezi modelem a zemí, a proto je toto pásmo pro řízení modelu nepoužitelné. Dalším pásmem, ve kterém se provozovaly RC modely, bylo pásmo 27 MHz. Toto pásmo je dnes již určeno pro občanské radiostanice. V dnešní době povolená pásma pro provozování RC modelů jsou 40 MHz, které je určeno pro provoz všech druhů RC modelů a pásmo 35 MHz, které je určeno pouze pro RC modely letadel. Toto pásmo je dále rozděleno na dvě dílčí pásma A a B. RC vysílač i přijímač je naladěn buď do pásma 35 nebo 40 MHz. Přesné doladění na určitý kanál se provádí pomocí výměnného krystalu, zapojeného jak do vysílače, tak do přijímače. Rozestup mezi jednotlivými kanály je 10 KHz. Povolené frekvence v ČR a čísla kanálů jsou v tabulce 9:

K přenosu signálu se u RC souprav používají tři základní modulace. Jsou to:

- AM – amplitudová modulace

- FM (PPM) – frekvenční modulace
- PCM – Pulzní kódová modulace

Amplitudová modulace znamená, že vysílač vyzařuje vysokofrekvenční signál, u něhož je hodnota řídicího signálu charakterizována velikostí amplitudy. Tato modulace se v dnešní době již používá pouze výjimečně u jednoduchých dvoukanálových RC souprav.

Frekvenční modulace naopak pracuje se signálem o stejné amplitudě a hodnota řídicího signálu je charakterizována změnou frekvence. Pulzní kódová modulace funguje stejně jako frekvenční modulace, ale signál je přenášen v zvláštním digitálním kódu, který umožňuje přijímači kontrolovat jeho správnost.

2.6.3 Volba RC soupravy:

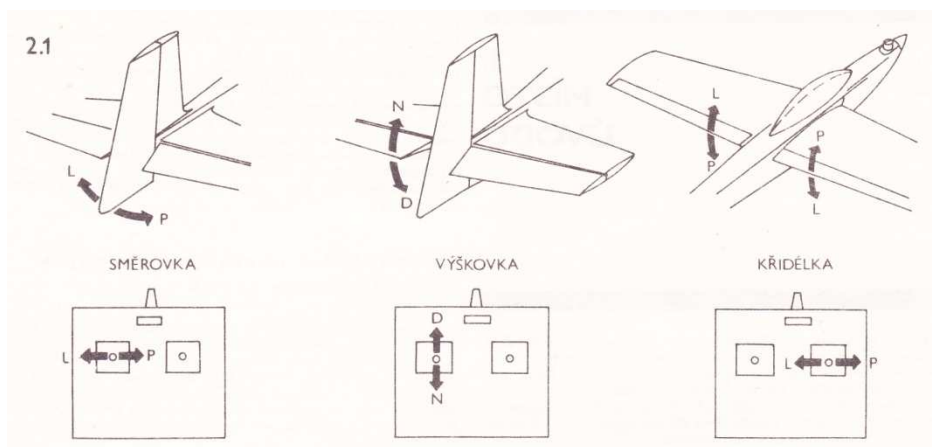
Jak již bylo napsáno výše, k řízení modelu byla vybrána počítačová šesti-kanálová RC souprava pro pásmo 35 MHz. Na trhu se prodávají tři typy takovýchto souprav. Jsou to:

- Hitec Optic 6 Sport
- Groupner mx-12
- Futaba EXP 6

Rozdíly mezi soupravami jsou minimální a všechny obsahují funkce potřebné pro řízení navrženého modelu. Rozdíly jsou patrné hlavně v uspořádání a ovládání programového vybavení a především v ceně. Z těchto souprav jsem vybral RC soupravu Hitec, vzhledem k její nejnižší ceně, nejlepší dostupnost a několikaletým kladným zkušenostem s používáním komponentu této firmy.

Zvolená RC souprava Hitec Optic 6 sport se skládá z vysílače a přijímače HSF-06 MT. Přijímač je šesti-kanálový s jednoduchým směřováním. Vysílač je také šesti-kanálový. Je vybaven dvěma křížovými ovladači pro řízení základních letových funkcí, dvěma dvoupolohovými přepínači a jedním třípolohovým pro ovládání pomocných funkcí a osmi tlačítky pro programování vysílače. Vysílač je v módu 1, což znamená, že motor a křídélka

jsou ovládány pravým křížovým ovladačem a výškovka a směrovka levým křížovým ovladačem (viz. obr. 20).



Obr. 2.18 – funkce ovládačů v módu 1

Vysílač má přednastavené programové funkce pro motorové modely (ACRO), větroně (GLID) a vrtulníky (HELI). Pro ovládání modelu je použit mód pro motorové modely, jehož funkcemi jsou:

- EPA velikost výchylek serv
- D/R dvojí výchylky
- EXP exponenciální průběh výchylek
- S-TRM doladění neutrální výchylky serva
- S-REV obracení smyslu výchylek serv
- P.MIX volně programovatelný mix
- ELVN mix pro elevony (kombinace výškovky a křídélek)
- FLPN mix pro flaperony (kombinace klappek a křídélek)
- V-TAL mix pro motýlkové ocasní plochy
- A->R mix křídélek a směrovky
- E->F mix výškovky a klappek
- CUT zhasínání motoru
- CAMB mix pro ovládání klappek/letových režimů
- FLT.C nastavení letových režimů

Na modelu jsou nastaveny tyto mixy:

- V-TAL – je použit k ovládání motýlkových ocasních ploch, jeho hodnota je nastavena na 100%, to znamená, že výchylky serv v obou funkcích jsou stejné
- FLPN – tento mix umožňuje na modelu použít ovládání křidélek dvěma servy. Mimo to je pomocí něj nastavena diferenciace křidélek na 50%, což znamená, že výchylka křídélka směrem dolů je poloviční než výchylka nahoru.
- A->R – tento mix umožňuje řídit výchylku směrovky podle výchylky křidélek, což slouží k lepšímu prolétnutí zatáčky. Mix je nastaven na 25%, což znamená, že při plné výchylce křidélek se směrovka vychýlí na 25% své maximální výchylky.

Nastavení všech funkcí vysílače je zřejmé z přílohy A.

2.6.4 Serva:

Serva řídí veškeré mechanické ovládání letounu, tedy přes páky a táhla ovládají křídélka, kormidla ocasních ploch i karburátor motoru. Při výběru serv bylo nutné brát v úvahu jeho výkonové parametry, především pak krouticí moment, dále jeho rozměry a v neposlední řadě hrála důležitou úlohu také cena.

V dnešní době se na trhu vyskytuje velké množství serv různých výrobců. Z pohledu konstrukce lze serva dělit:

Podle zpracování signálu:

- Analogová
- digitální

Podle velikosti na:

- Piko serva
- Mikro serva

- Mini serva
- Standardní serva
- Obří (jumbo) serva

Podle materiálu převodu:

- S plastovými převody
- S kovovými převody

Podle uložení hřídele:

- S kluznými ložisky
- S jedním kuličkovým ložiskem
- Se dvěma kuličkovými ložisky

Obecně lze říci, že lepší volbou jsou serva digitální, jsou totiž rychlejší a mají větší moment, než serva analogová. Mají však vyšší proudový odběr a především výrazně vyšší cenu. Díky ceně na modelu tato serva nejsou použita.

Nejdůležitějšími výkonovými parametry serva pak jsou:

- Krouticí moment – Výrobci udávají moment v jednotkách $\text{kg}\cdot\text{cm}$, správnější jednotkou by byly $\text{N}\cdot\text{cm}$.
- Rychlost – rychlost serva je udávána časem, za který páka serva opíše určitý úhel, obvykle se používá výchylka 60° . Různí výrobci však používají i jiné výchylky.

K řízení křidélek jsem použil serva Hitec HS-422 standardní velikosti. Parametry těchto serv jsou:

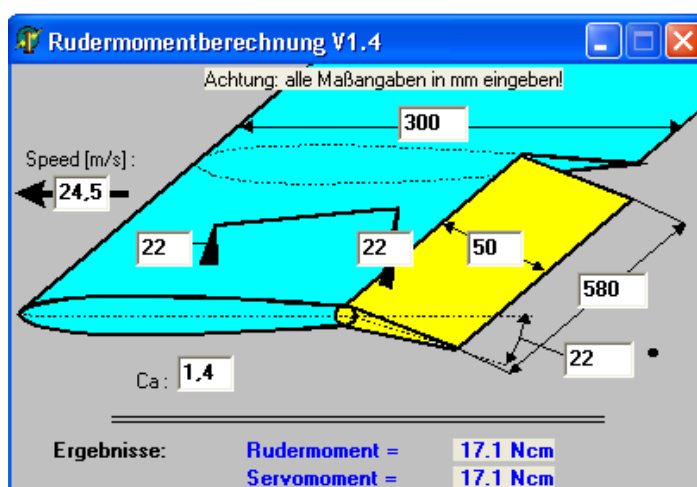
- | | |
|-------------------|-----------------------------|
| • Rozměry | 41 x 20 x 37 mm |
| • Hmotnost | 45,5 g |
| • Krouticí moment | 33 $\text{N}\cdot\text{cm}$ |

- Rychlost 0,21 s/60°

K řízení kormidel jsem použil serva Hitec HS-125 MG. Jsou to mikroserva, která mají plochou konstrukci uzpůsobenou pro umístění do křídla. Jejich parametry jsou:

- Rozměry 30 x 10 x 34 mm
- Hmotnost 24 g
- Krouticí moment 30 N*cm
- Rychlost 0,17 s/60°

Zda je krouticí moment použitých serv dostatečný k řízení modelu jsem ověřil pomocí programu RUDER MOMENT BERECHNUNG, který je volně stažitelný na internetové adrese <http://home.germany.net/100-173822/schwerp.htm>. Hodnoty, které jsou do něj zadávány a také výsledky jsou patrné z tabulky 10.



Obr. 2.19 – prostředí programu RUDERMOMENTBERECHNUNG

Tab. 2.9 – hodnoty zadávané do programu RUDERMOMENTBERECHNUNG

Parametr	Křídélka	Kormidla
Hloubka křídla (OP)	300 mm	200 mm
Hloubka řídící plochy	50 mm	70 mm
Délka řídící plochy	580 mm	470 mm
Délka páky serva	22 mm	22 mm
Délka páky řídící plochy	22 mm	22 mm
Maximální výchylka	22°	40°
Rychlost modelu	24,5 m*s ⁻¹	24,5 m*s ⁻¹
Max. součinitel vztlaku	1,4	0,8
Potřebný moment serva	17,1 N*cm	28,5 N*cm

Jak je z výsledků v tabulce vidět, u serv křidélek je moment dostatečný, stejně tak jako u serv kormidel. Dá se však očekávat, že model bude schopen dosáhnout vyšší rychlosti, než která je použita ve výpočtu (např. při strmém klesání). V takovém případě není možno využívat plné výchylky kormidel.

Pro ovládání RC karburátoru motoru jsem použil mikro servo Hitec HS-81. Na krouticí moment serva ovládajícího karburátor nejsou kladeny žádné zvláštní nároky. Servo je pouze ohroženo vibracemi od motoru. Parametry serva jsou:

- Rozměry 30 x 12 x 30 mm
- Hmotnost 16,6 g
- Krouticí moment 2,6 N*cm
- Rychlost 0,11 s/60°

2.6.5 Akumulátor:

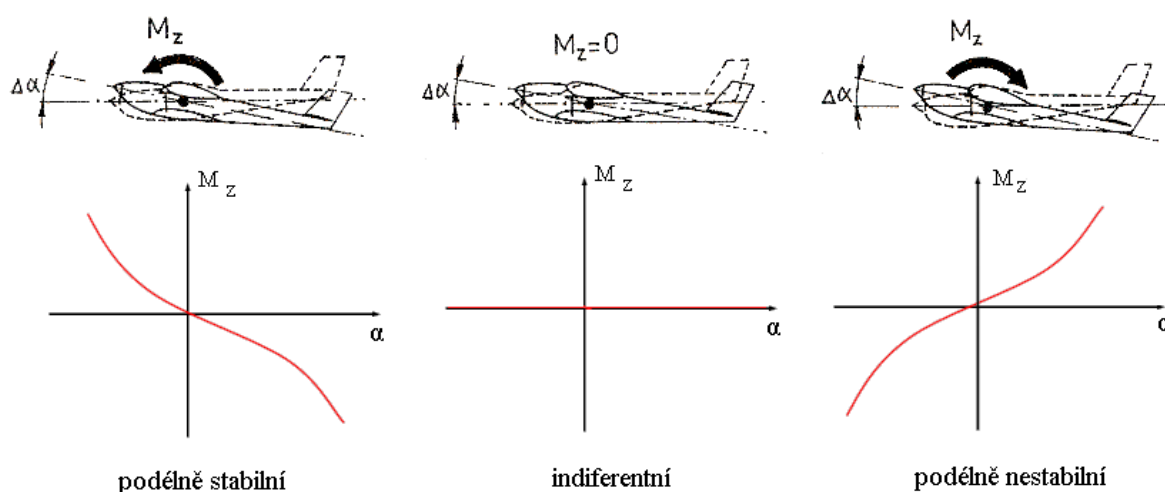
Akumulátor v modelu musí zajistit napájení přijímače a všech použitých serv. Pro napájení palubního vybavení modelu se nejčastěji používá čtyř (4,8 V) nebo pěti (6,0 V) článkový akumulátor. Nejčastěji se používají NiCd nebo NiMH články. V modelu je použit akumulátor složený ze čtyř článků NiMH o kapacitě 2000 mAh.

2.7 Podélná stabilita modelu:

Na podélnou stabilitu modelu, stejně jako na jeho řiditelnost, má zásadní vliv poloha těžiště a úhel seřízení. Při posuzování podélné stability modelu mohou nastat tři situace. Letoun může být:

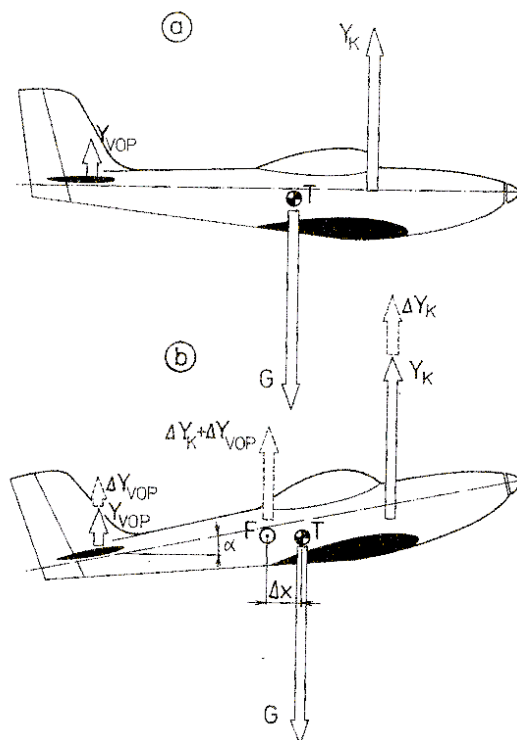
- Podélně stabilní – při vychýlení z rovnovážné polohy vznikne moment, snažící se vrátit letoun zpět do této polohy
- Indiferentní – při vychýlení z rovnovážné polohy nevzniká žádný moment a letoun setrvává v nově nabyté poloze

- Podélně nestabilní – při vychýlení z rovnovážné polohy vznikne moment, který dále zvyšuje vychýlku



Obr. 2.20 – stabilita modelu a momentové charakteristiky

Podélná stabilita modelu je určena polohou těžiště, mohutností vodorovné ocasní plochy a úhlem seřízení modelu. Při určení těžiště je nutné znát polohu neutrálního bodu. V tomto bodě se nachází působíště přírůstků vztlaku vyvolaných změnou úhlu náběhu a aerodynamický moment, vyvolaný změnou úhlu náběhu, je zde konstantní. Na Obr. 23 je neutrální bod modelu označen písmenem F. Zde na obrázku a je model v rovnováze. Pokud složíme vztlakové síly do výslednice, bude působit v místě těžiště a nebudou tedy vyvolávat žádný moment. Pokud však dojde k vychýlení modelu z rovnovážného stavu (obrázek b), dojde k přírůstku vztlaku jak na křídle, tak na vodorovné ocasní ploše. Výslednice těchto přírůstků

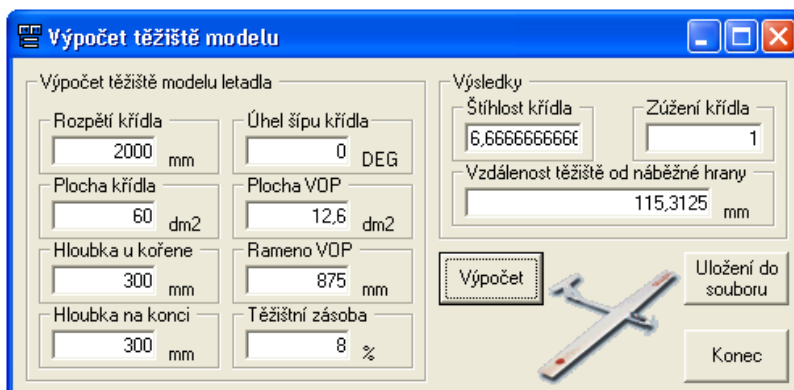


Obr. 2.21 rovnováha aerodynamických sil

bude působit právě v neutrálním bodě. Protože neutrální bod je od těžiště vzdálený o určitou vzdálenost Δx , bude výslednice působit na tomto rameni a vzhledem k těžišti vytvoří stabilizující moment.

Z obrázku tedy vyplývá, že pro dosažení stabilního letu je nutné, aby těžiště leželo před neutrálním bodem. Pokud by těžiště leželo v neutrálním bodě, stabilita modelu by byla indiferentní a v případě, že těžiště bude ležet až za neutrálním bodem, bude model nestabilní.

Při zjišťování přibližné polohy neutrálního bodu modelu jsem použil program TĚŽIŠTĚ. Tento program je volně stažitelný z internetu, např. na těchto stránkách: <http://www.volny.cz/skocdopoler/Software/Soft.htm>. Pokud se hodnota těžištní zásoby



Obr. 2.22 – Prostředí programu TĚŽIŠTĚ

zadá rovna 0, výsledná hodnota polohy těžiště bude právě shodná s polohou neutrálního bodu. Hodnota vzdálenost křídlo-VOP představuje vzdálenost mezi body ležícími v 25 % třetiny křídla a VOP. Jako hodnotu plochy VOP jsem použil plochu přepočítanou na OP klasického uspořádání, jak bylo uvedeno v kapitole o ocasních plochách. Program TĚŽIŠTĚ totiž použití motýlkových ocasních ploch nezohledňuje. Dosazené hodnoty a výsledek:

Rozpětí křídla:	2000 mm
Plocha křídla:	60 dm ²
Hloubka křídla u kořene:	300 mm
Hloubka křídla na konci:	300 mm
Úhel špičky křídla:	0 °
Plocha VOP:	12,6 dm ²
Rameno VOP:	875 mm
Těžištní zásoba:	0 %

Neutrální bod bude 139,31 mm od náběžné hrany křídla, což je 46,437 % střední aerodynamické třetiny křídla.

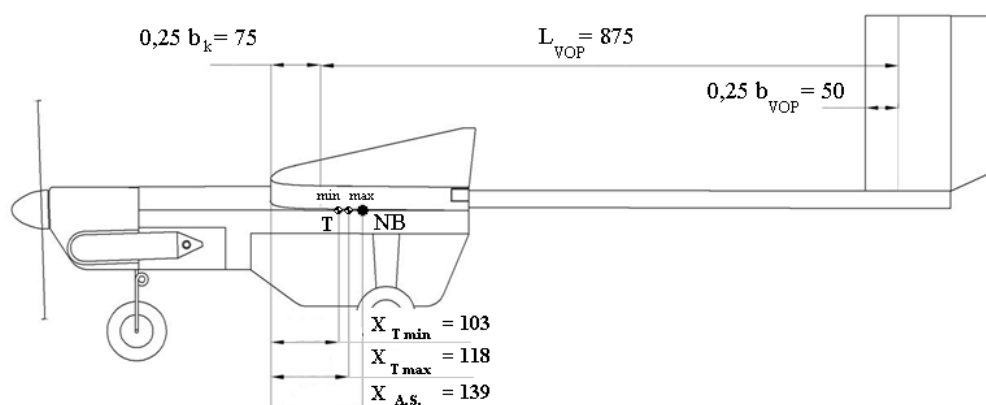
Pro míru podélné stability letounu je důležitá velikost těžištní zásoby. Těžištní zásoba je vzdálenost mezi těžištěm a aerodynamickým středem letounu. Čím větší je těžištní zásoba, tím dále je těžiště před aerodynamickým středem. Hodnoty těžištní zásoby se volí přibližně v hodnotách podle tabulky 11.

Tab. 2.10 – hodnoty těžištní zásoby pro různé kategorie RC modelů

Typ modelu		R (v % SAT)
Motorové modely	Rekreační	10 až 15
	Akrobatické	5 až 10
Větroně	Rekreační	5 až 8
	Soutěžní	3 až 5

Pro výpočet těžiště jsem použil opět program TĚŽIŠTĚ. Použité hodnoty byly stejné jako při výpočtu aerodynamického středu letounu. Jediné co jsem změnil, byla velikost těžištní zásoby. Těžiště jsem počítal pro dvě hodnoty. Zvolil jsem hodnoty ve středu rozmezí doporučeného pro motorové modely a to 8 % a 12 % střední aerodynamické tětivy. Výsledky pro ně jsou:

Těžištní zásoba	Vzdálenost od náběžné hrany	Vzdálenost v % SAT
8 %	103 mm	34,333 %
12 %	118 mm	39,333 %

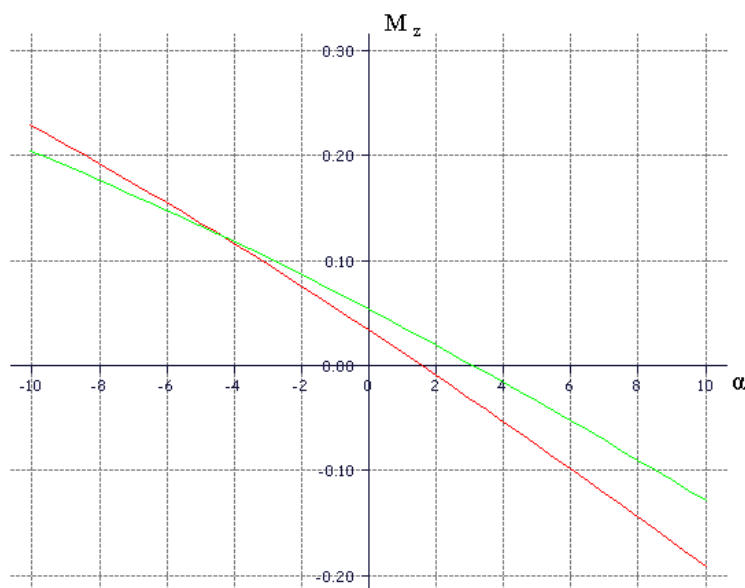


Obr. 2.23 – poloha těžiště a neutrálního bodu

Pro podélnou stabilitu je mimo polohy těžiště důležitý úhel seřízení. Jedná se o úhel, který svírá tětíva profilu křídla s tětívou profilu vodorovné ocasní plochy. Úhel seřízení u modelů běžné koncepce musí být kladný, nebo alespoň nulový. Nulový úhel seřízení se používá především u

akrobatických modelů. Na navrženém modelu jsou použity úhly nastavení (což

jsou úhly, které svírá tětíva profilu s podélnou osou trupu) křídla 2° a úhel nastavení ocasních ploch 0° . Úhel seřízení modelu je pak dán součtem těchto dvou úhlů. V případě navrženého modelu to je tedy $2 + 0 = 2^\circ$. Na obrázku 26 jsou zobrazeny momentové charakteristiky modelu pro tento úhel seřízení a polohy těžiště 103 a 118 mm od náběžné hrany křídla, která dokazuje, že model s těžištěm v této poloze bude podélně stabilní.



Obr. 2.24 – momentová charakteristika modelu, vzhledem k těžišti

3 Konstrukce:

Popisovaný letoun je jednomotorový s hornokřídlym uspořádáním a tzv. motýlkovými ocasními plochami. Je celo-balsové konstrukce, potažený nažehlovací fólií, motorový a nákladový prostor jsou opatřeny laminátovými kryty. Letoun je vybaven pevným neřízeným tříkolým podvozkem. Spodní část trupu pod křídlem je určena k upevnění až 1,5 kg nákladu. Model je osazen motorem se žhavicí svíčkou ASP S91A o objemu 15 cm³, který pohání dvoulistou vrtuli. Řízení zajišťuje šesti kanálová RC souprava Hitec Optic 6 sport, pracující v pásmu 35 Mhz pomocí pěti serv.

Tab. 3.1 – základní data modelu

Délka	2000	mm
Rozpětí křídla	1414	mm
Rozpětí ocasních ploch	780	mm
Výška	456	mm

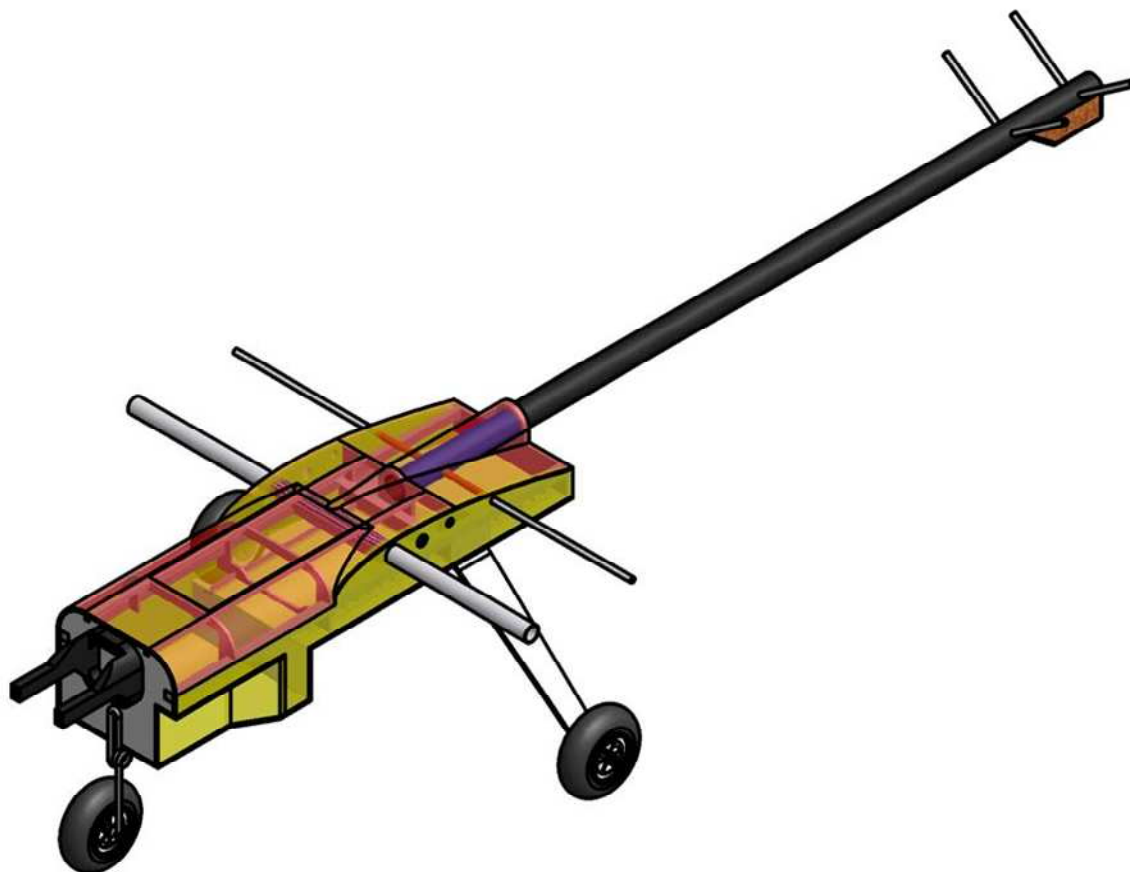
Tab. 3.2 – hmotnosti částí modelu

Trup	820	g
Křídlo	840	g
Ocasní plochy	540	g
Podvozek	320	g
Motor	720	g
RC vybavení	282	g
CELKEM	3522	g
palivo	400	g
náklad	1000	g
Hmotnost celkem	4922	g

3.1 Trup:

Trup sestává ze dvou hlavních částí. Přední část je tvořena příhradovou konstrukcí. Zadní je provedena jako nosník ocasních ploch, tvořený uhlíkovou trubicí. Trubka je snímatelná pro snadnější transport a skladování.

Přední část má smíšenou balsovo-překližkovou konstrukci. Je zde sedm přepážek. Přepážky 1, 5, 6 jsou vyřezány z překližky tloušťky 5 mm, přepážky 2, 3, 4 z balzy tloušťky 3 mm a na přepážku 6 je použita balza 5 mm tlustá. Na přepážce č. 1 je instalováno motorové lože z plastu vyztuženého skelnými vlákny. Vůči ose trupu je motorové lože vychýleno o 2° dolů a o 2° doprava. Na přepážce č. 1 je rovněž upevněna přední podvozková noha. Přepážky č. 5 a 6 tvoří konstrukci pro upevnění hlavního podvozku. Přepážky č. 5 a 7 jsou spojeny pouzdrem nosníku ocasních ploch. To je tvořeno navinutím pěti vrstev papírové pásky.



Obr. 3.1 – konstrukce trupu

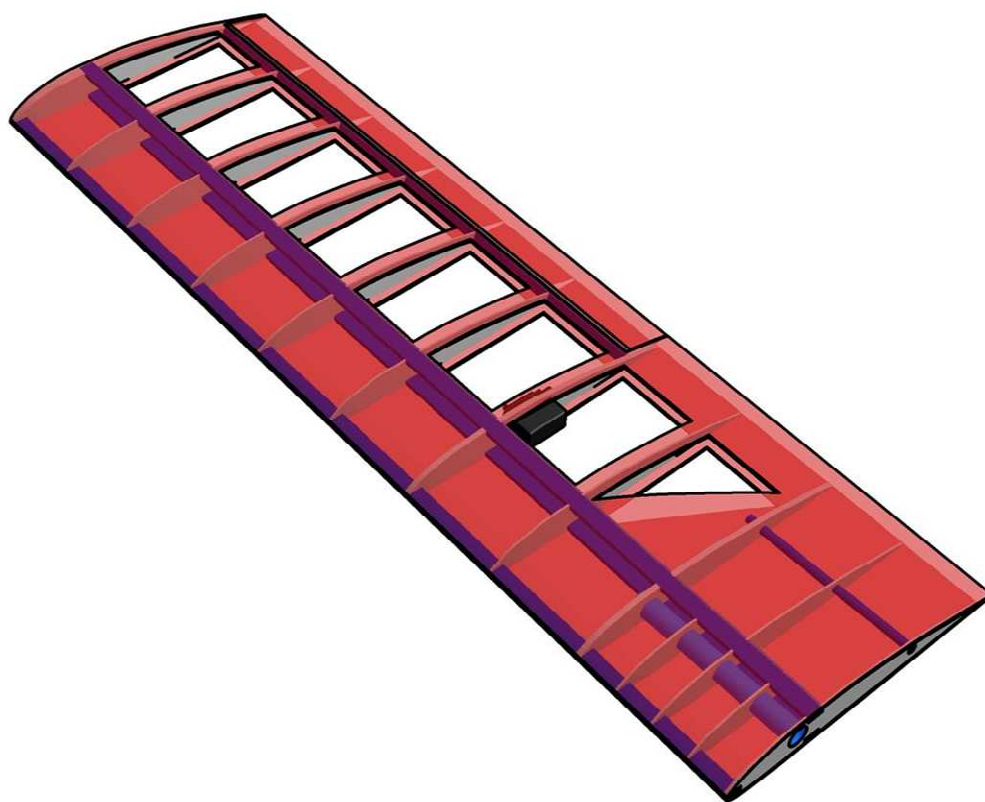
Přepážky jsou přilepeny na dva nosníky čtvercového průřezu z balzy 10 x 10 mm. Po přepážku č. 5 jsou v trupu také dva pomocné nosníky z balzy 5 x 5 mm. Bočnice trupu jsou vyřezány z balzy 3 mm, vyztužené překližkou tloušťky 1 mm. Spodní i vrchní tuhý potah je tvořen balzou 3 mm. Spodní část trupu je opatřena dvěma nosníky z hliníkové slitiny pro upevnění nákladu. Ve střední části je laminátové pouzdro pro duralovou spojku křídel a také papírové pouzdro pro trubku aretující křídlo ve správném úhlu. Tato trubka také slouží k zajištění nosníku ocasních ploch proti vysunutí a pootočení.

Přístup do trupu, k nádrži a palubnímu RC vybavení zajišťuje rozměrný balzový kryt v horní části trupu. Motorový prostor a prostor určený pro náklad jsou opatřeny laminátovými kryty. Tyto kryty jsou k trupu upevněny pomocí vrutů.

3.2 Křídlo:

Křídlo modelu je dělené, obdélníkové, bez aerodynamického a geometrického zkroucení. Křídlo má vzepětí 2°. Konce křídel jsou opatřeny malými winglety. Profil křídla je ClarkY.

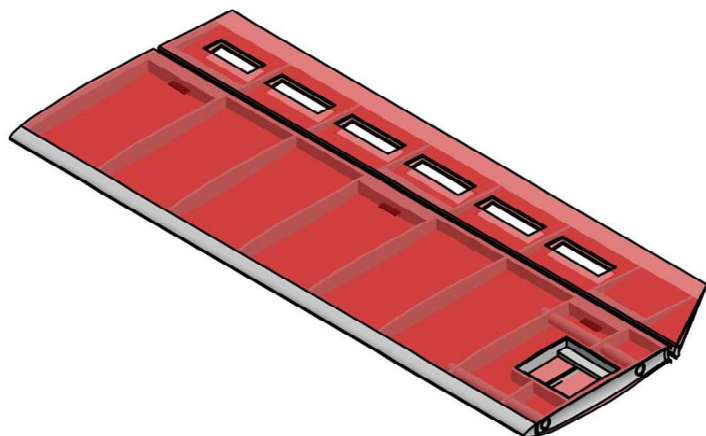
Kostra křídla je tvořena dvanácti žebry, dvěma pomocnými žebry, hlavním a pomocným nosníkem. Nosník je tvořený dvěma smrkovými pásnicemi ze smrkového dřeva průřezu 5 x 15 mm a pásnicí z balzy tloušťky 2 mm. Pomocný nosník je vytvořen z balzy 2 mm a slouží především k uchycení křidélek. Žebro č. 1 je tvořeno balzou 5 mm a je vyztuženo překližkou 1 mm. Žebra č. 3 a 5 jsou z balzy 5 mm, žebro č. 12 z balzy 10 mm. Zbylá žebra jsou vyřezána z balzy 2 mm. Mezi žebry č. 1 až 3 jsou zalepeny pouzdra pro spojky křídla. K žebro č. 5 je přišroubováno servo ovládání křidélek. Kostra křídla je až po konec hlavního nosníku potažena balzou 2 mm. Z balzy stejné tloušťky jsou také pásy zpevňující žebra a potah v oblasti pomocného nosníku. Celé křídlo je potaženo nažehlovací fólií Solarfilm. Poloviny křídla se nasouvají na duralovou trubku o průměru 18/16 mm zachycující ohybový moment a na trubičku o průměru 6/5 mm zachycující krouticí moment a aretující křídlo ve zvoleném úhlu náběhu. Proti vysunutí jsou poloviny křídla pojištěny gumovou smyčkou.



Obr. 3.2 – konstrukce křídla

Křidélka mají rozměr 50 x 580 mm a zaujímají 10,45 % plochy křídla. Jejich konstrukce sestává z nosníku z balzy 3 mm, v němž jsou umístěny závěsy pro montáž ke křídlu, 12 žeber z balzy 2 mm a tuhého potahu z balzy stejné tloušťky. Celek je stejně jako křídlo potažen fólií Solarfilm. Každé křidélko je ke křídlu upevněno pomocí 3 plastových závěsů. Výchyly křidélek jsou 22° nahoru a 11° dolů.

3.3 Ocasní plochy:



Obr. 3.3 – konstrukce ocasních ploch

Ocasní plochy jsou sdružené, motýlkové. Plochy mezi sebou svírají úhel 110° . Kostra pevných ploch sestává z předního a zadního nosníku a devíti žeber. Přední nosník je z balzy 2 mm a je na něj přilepená náběžná hrana vybroušená z balzového hranolu 10×10 mm. Zadní je z Balzy 3 mm a jsou v něm zalepeny závěsy kormidel. Žebra jsou vyříznuta z balzy 2 mm, kromě prvního a posledního, na které je použita balza tloušťky 5 mm.

Kostra je opatřena tuhým potahem z Balzy 1,5 mm, na němž je nažehlena fólie Solarfilm. Kormidla mají obdobnou konstrukci jako křídélka. K jejich upevnění k pevným plochám je použito tří plastových závěsů. Každá z ocasních ploch je k uhlíkovému nosníku upevněna pomocí dvou čepů z hliníkové slitiny a zalepena epoxidovým lepidlem.

3.4 Přistávací zařízení:

Model je vybaven pevným tříkolým podvozkem s příďovým kolem. Podvozek není řízený. Nohy hlavního podvozku jsou ohnuty z duralového plechu o síle 4 mm. Osy kol jsou tvořeny šrouby M5, zašroubovanými v závitech vyřezaných v noze. Kola hlavního podvozku mají průměr 90 mm, jsou opatřeny mechovými obručemi a pojištěny jsou pojistnými maticemi. Hlavní podvozek je připevněn ke konstrukci, tvořené přepážkami č. 5 a 6, pomocí čtyř šroubů M3.

Příďová noha je ohnuta z ocelového drátu o průměru 5 mm. Na drátu jsou navinuty dvě smyčky pružiny k zachycení rázů. Noha je opatřena stejně jako hlavní podvozek kolem o průměru 90 mm s mechovou obručí. Proti vysunutí je kolo zajištěno podložkami, nití a epoxidovým lepidlem. Příďová noha je pomocí dvou šroubů M5 přišroubována na přepážku č. 1.

Technická data podvozku:

Rozvor kol	378 mm
Rozchod kol	465 mm

3.5 Pohonná jednotka a palivový systém:

Pohon modelu obstarává dvoudobý motor se žhavicí svíčkou ASP S91A o objemu 15 cm³, opatřený vrtulí master aircraft o rozměru 13 x 6.

Palivovou soustavu tvoří nádrž o objemu 450 ml, která je opatřena třemi hadičkami ze silikonu o rozměru 2 x 1 mm. První slouží k přívodu paliva ke karburátoru motoru. Tato hadička je v nádrži opatřena tzv. bimbátkem, pro zajišťujícím přísun paliva ve všech letových polohách. Druhá hadička je určena k přísunu přetlaku od tlumiče výfuku do nádrže. Třetí hadička je určena pro doplňování paliva. Ta je během provozu utěsněna vsunutím šroubu M3.

3.6 Systém řízení

Model je řízen kolem všech tří os, což je zajištěno pomocí křidélek a motýlkových ocasních ploch. Do systému řízení patří také ovládání RC karburátoru motoru. Kompletní palubní část řízení modelu je provedena pomocí pěti serv tří typů, přijímače a palubního akumulátoru.

Tab. 3.3 – serva použitá na modelu

Funkce	Počet	Typ	Moment [N*cm ⁻¹]	Rychlost [s/60°]
Křídélka	2	Hitec HS-422	33	0,21
Kormidla	2	Hitec HS-125MG	30	0,17
Karburátor	1	Hitec HS-81	26	0,11

Přijímač použitý v modelu je typ Hitec HFS-06 MT. Jedná se o přijímač pro standardní a menší modely. Využívá jednoduché směřování.

- Rozměry přijímače: 36,7 x 25 x 18 mm
- Hmotnost přijímače: 15 g
- Počet kanálů 6

Pozemní část řízení tvoří RC vysílač Hitec Optic 6 sport. Jedná se o počítačový šesti-kanálový vysílač v módu 1. Je vybaven dvěma křížovými ovládači pro ovládání základních funkcí, dvěma dvoupolohovými přepínači a jedním třípolohovým přepínačem a tlačítkem pro zhasnutí motoru. Provozní údaje se zobrazují na LCD display, po jehož každé straně jsou čtyři programovací tlačítka.

Křídélka a kormidla ocasních ploch jsou ovládána tuhými táhly tvořenými uhlíkovou tyčkou o průměru 2 mm. Konce jsou opatřeny koncovkami se závitem M2, na něž jsou našroubovány plastové vidličky. Pomocí nich je možno seřídit délku táhla podle potřeby. RC karburátor motoru je ovládán pomocí bowdenu z důvodu nedostatku místa pro přímé táhlo.

Konce bowdenu jsou stejně jako ostatní táhla opatřeny šroubovacími koncovkami s našroubovanými vidličkami.

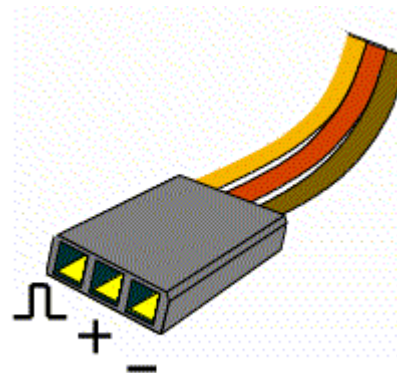
3.7 Elektrický systém:

Elektrický systém modelu je tvořen palubním RC vybavením. Částečně je možné z palubních akumulátorů napájet také některé z prvků zavěšeného nákladu. Základními částmi elektrického systému jsou:

- Přijímač
- Akumulátory
- 2 x servo Hitec HS-422 ovládání křidélek
- 2 x servo Hitec HS-125 MG ovládání kormidel
- 1 x servo Hitec HS-81 ovládání RC karburátoru
- Vypínač

Vedení mezi servy a přijímačem je zajištěno pomocí tří-žilových servokabelů, jejichž barevné označení je:

- Žlutá řídicí signál
- Červená kladný pól napájení
- Černá záporný pól napájení



Obr. 3.4 – zapojení servokonektoru

Protože jsou serva umístěna co nejbližší k řídicím plochám, jsou servokabely prodlouženy. Délka prodloužení je 15 cm pro serva křidélek a 60 cm pro serva ocasních ploch.

Přijímač v modelu je typu Hitec HFS-06 MT.

Napájení palubního vybavení zajišťuje akumulátor, tvořený čtyřmi NiMH články Sanyo o kapacitě 2000 mAh. Akumulátor je připojen k vypínači a následně k přijímači pomocí dvou-žilového kabelu.

3.8 Užitný prostor:

Užitný prostor se nachází na spodní části trupu pod křídlem. Pro upevnění nákladu je vybaven dvěma L profily z hliníkové slitiny, v nichž jsou vyřezány závity pro šrouby M5. Proti povolení jsou šrouby zajištěny závlačkou ke konstrukci nákladu. Vhodným posunem nákladu v nákladovém prostoru je zachována správná poloha těžiště. Nákladový prostor je uzavřen laminátovým krytem, který je k trupu upevněn pomocí vrutů.

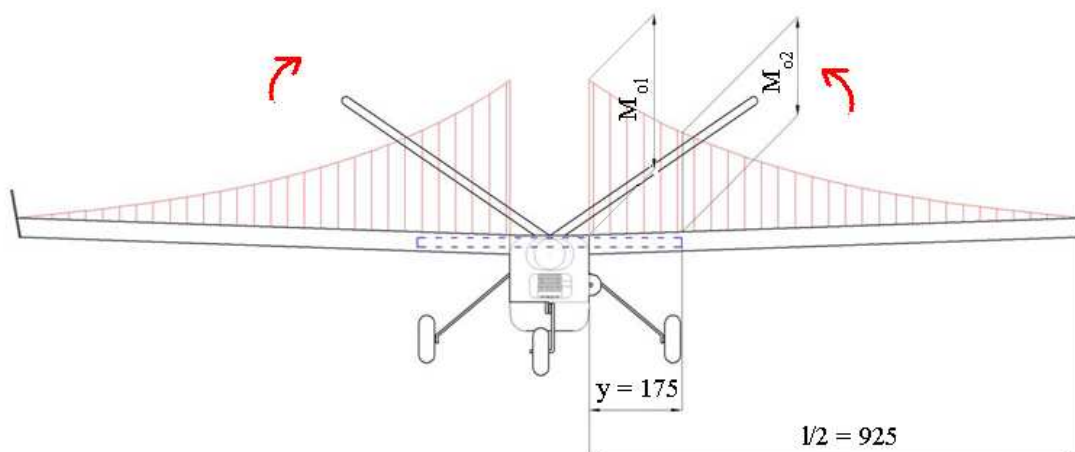
3.9 Pevnost modelu:

Při řešení pevnosti modelu jsem se omezil pouze na nejkritičtější místa konstrukce, kterými jsou nosník křídla a spojka křídel. Další konstrukční části jsou dimenzovány podle zkušeností z řady modelů, zveřejněných na internetu a odborných modelářských časopisech. Určení všech zatížení a pevnostní výpočty všech konstrukčních uzlů modelu by zcela jistě vydaly na samostatnou práci. Ve výpočtu zatížení nosníku a spojky křídel jsem se dopustil několika zjednodušení oproti přesným výpočtům. Zjednodušení však vždy byla taková, že vedla k zvýšení bezpečnosti.

Při určení zatížení křídla je důležité znát max. provozní násobek. Násobky obvyklé pro různé typy modelů jsem získal z odborných časopisů.

- | | |
|---------------------------------------|---------|
| • Rekreační motorové modely | 4 – 6 |
| • Soutěžní větroně | 8 – 14 |
| • Zvláště namáhané akrobatické modely | 15 – 25 |

Vzhledem k předpokládanému charakteru provozu modelu je možné jej zařadit do skupiny rekreačních modelů s násobkem dosahujícím 6 g. Na obrázku 31 je naznačen ohybový moment podél rozpětí křídla. Při výpočtu ohybového momentu je uvažováno zjednodušení, při němž se počítá, že zatěžující síla působí v polovině poloviny rozpětí. Kritickým místem z hlediska namáhání ohybovým momentem je pro spojku křídel právě spoj křídla s trupem a pro nosník křídla je to místo, kde končí spojka křídel (na obr. 31 je to vzdálenost y).



Obr. 3.5 – průběh ohybového momentu

Zatěžující síla, působící na model, je rovna:

$$F_z = m \times n \times g \quad (3.1)$$

Po dosazení:

$$4,5 \times 6 \times 9,81 = 264,87 \text{ N}$$

Ohybový moment v místě spojení křídla s trupem:

$$M_o = \frac{F_z}{2 \times l} \left(\frac{l}{2} - y \right)^2 \quad (3.2)$$

Po dosazení:

$$\frac{264,87}{2 \times 2000} \left(\frac{2000}{2} - 0 \right)^2 = 66217,5 \text{ Nmm}$$

Spojka křídla je tvořena duralovou trubkou o průměru 18/16 mm a délce 500 mm. Ohybový modul trubky je dán vztahem:

$$W_{o1} = \frac{\pi}{32} \times \frac{D^4 - d^4}{D} \quad (3.3)$$

Po dosazení:

$$\frac{\pi}{32} \times \frac{18^4 - 16^4}{18} = 215,112 \text{ mm}^3$$

Z toho vyplývá napětí:

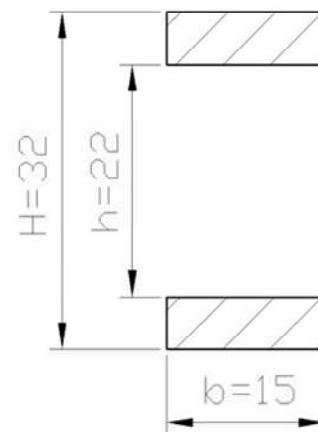
$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (3.4)$$

Po dosazení:

$$\frac{66217,5}{215,112} = 307,828 \text{ MPa}$$

Mez pevnosti je u tažených duralových trubek AL-Cu4-Mg (ČSN 42 4201.61) rovna 390 MPa. Z toho vyplývá, že pevnost použité trubky je dostatečná. Vyplývající součinitel bezpečnosti je dán podílem mezi dovoleným napětím a napětím skutečným. Ze známých hodnot je tedy součinitel bezpečnosti roven 1,267.

V případě nosníku křídla bude výpočet podobný. Nosník je tvořený smrkovými pásnicemi a balsovou stojinou. Při výpočtu je stojina vypuštěna a počítáno je pouze se smrkovými pásnicemi. Rozměry jsou patrné z obrázku 32.



Obr. 3.6 – průřez nosníku křídla

Ohybový moment v kritickém řezu (dosazení do vztahu 3.2):

$$\frac{264,87}{2 \times 2000} \left(\frac{2000}{2} - 175 \right)^2 = 45069,286 \text{ Nmm}$$

Modul pevnosti v ohybu nosníku je dán vztahem:

$$W_o = \frac{b \times (H^3 - h^3)}{6H} \quad (3.5)$$

Po dosazení:

$$\frac{15 \times (32^3 - 22^3)}{6 \times 32} = 1728,125 \text{ mm}^3$$

Výsledné napětí pak bude (dosazení do vztahu 3.4):

$$\frac{45069,286}{1728,125} = 26,08 \text{ MPa}$$

Mez pevnosti v ohybu u smrkového dřeva je přibližně 75 MPa. Z toho je zřejmé, že nosník křídla má dostatečnou pevnost.

4 Zálet:

Před prvním startem modelu, bylo nutné ověřit dodržení všech úhlů, polohy těžiště a přesnosti sestavení. Dále bylo zkontrolováno upevnění všech částí modelu, především pak motoru, serv a řídících táhel. U nich bylo nutné dbát na volný chod při všech výchylkách kormidel. Důležitou částí kontroly je kontrola smyslu výchylek křidélek a kormidel. Zde je nutné dát pozor na správné zapojení konektorů serv kormidel do přijímače, neboť jejich záměnou dojde k přehození funkce mezi směrovkou a výškovkou u V-mixu.

První let modelu se uskutečnil ve středu 7. dubna na ploše pro sportovní létající zařízení v Trnávce. Bylo bezvětrí a jasno. Před startem byl seřízen motor tak, aby byl jeho chod spolehlivý ve všech letových polohách. Při prvním startu nebyla pod modelem zavěšena žádná zátěž a rovněž na něm nebyly namontovány kryty motoru a nákladového prostoru.

Nejprve byly provedeny krátké zkoušky pojíždění po zemi, při nichž se model ukázal jako dobře směrově říditelný pomocí kormidel ocasních ploch. Během startu modelu byl patrný velký přebytek výkonu použitého motoru. Model bez nákladu je schopen odstartovat po velmi krátkém rozjezdu (asi 10 m) a ihned přejít do strmého stoupání. Ve vodorovném letu je model stabilní a je schopen letět asi na 25 % výkonu motoru. Pro plynulý průlet zatáčkami bylo nutné použít na vysílači mix mezi křidélkami a směrovkou.

5 Náklady:

Náklady na model jsem rozdělil do několika kategorií:

- Náklady na stavbu
 - Náklady na stavbu draku
 - Náklady na RC vybavení
 - Náklady na pohon modelu
- Náklady na provoz modelu
 - Dlouhodobé náklady
 - Provozní náklady

V tabulce zobrazující náklady na stavbu není uveden materiál na výrobu krytů serv, nákladu ani motoru. V době kdy jsem psal tuto práci, jsem kryty ještě neměl vyrobeny a model létal

bez nich. Stavba modelu spotřebovala, mimo v tabulce uvedené položky, další drobný materiál, potřebný v malém množství, který jsem použil z vlastních zásob, protože nákup by byl neekonomický. Většina věcí je kupovaná v kamenné prodejně v Ostravě. Ceny v prodejně nejsou natolik rozdílné, aby se vyplatilo materiál nakupovat přes internet. Jedinou věcí, kterou nebylo možno sehnat jinak než na internetu, byla uhlíková trubka na nosník ocasních ploch. Ta byla objednána u firmy Cell model z Mníšku.

Tab. 5.1 – náklady na stavbu modelu

drak modelu	konstrukční materiál - drak	název	počet	cena za ks. [Kč]	cena celkem [Kč]
		balsa 1,5 lehká	4	40	160
		balsa 2	8	36	288
		balsa 2 lehká	6	45	270
		balsa 3	4	43	172
		balsa 5	2	56	112
		balsa 10	1	68	68
		balsa - nosník 10 x 10	2	13	26
		smrk - nosník 5 x 10	1	10	10
		smrk - nosník 5 x 15	4	12	48
		překližka 0,8	1	99	99
		překližka 5	1	239	239
		Trubka uhl. 26/24	1	1069	1069
		Tyč Alu. 10 x 10	1	55	55
		tyč Alu. 15 x 2	1	69	69
		celkem			2685
	Podvozek	dural. Podozek hlavní	1	293	293
		kolo mechové r30	3	85	255
		drát oc. 5 mm	1	48	48
		celkem			596
	lepidla	kanagom	3	19	57
		herkules	1	69	69
		epoxy	1	145	145
			1	83	83
			1	55	55
		celkem			409
	potah. materiál	solarfilm - žlutá	1	130	130
		solarfilm - červená	3	130	390
		celkem			520
	drobné příslušenství	koncovky lanovodu	1	36	36
		vidlička - malá	1	55	55
		uzávěr kabiny	1	40	40
		uhlík. tyč 1mm	1	25	25
		páka řízení	1	15	15
		gumová oka	1	20	20
		závěsy kormidel	1	60	60
		celkem			251
	spojovací materiál	M3	x	x	12
		M4	x	x	11
		M5	x	x	15
		celkem			38
	CELKEM				4 499 Kč

Tab. 5.2 – náklady na RC vybavení

řízení modelu	název	počet	cena za ks. [Kč]	cena celkem [Kč]
	RC souprava Hitec	1	2390	2390
	akupak 4 x Sanyo	1	349	349
	vypínač	1	119	119
	servo HS-125 MG	2	715	1430
	servo HS-422	2	320	640
	servo HS-81	1	285	285
	nabíječ Tx, Rx	1	290	290
	prodluž.kabel 60 cm	2	59	118
	prodluž.kabel 15 cm	2	49	98
	celkem			5719

Tab. 5.3 – náklady pohon modelu

pohon modelu	název	počet	cena za ks. [Kč]	cena celkem [Kč]
	motor ASP S91A	1	2935	2935
	mot.lože	1	150	150
	vrtule 13 x 6	1	139	139
	vrt. Kužel	1	43	43
	nádrž	1	127	127
	pal.hadička	1	27	27
	celkem			3421

Tab. 5.4 – náklady na model celkem

stavba modelu celkem	
drak modelu	4 499 Kč
pohon modelu	3 421 Kč
řízení modelu	5 719 Kč
celkem	13 639 Kč

K provozu modelu je zapotřebí řada věcí, která umožňuje jeho využití k danému úkolu. Jak jsem již naznačil výše, náklady na provoz se dají rozdělit na provozní a dlouhodobé. Hlavními provozními náklady a v podstatě také jedinými přímými, jsou náklady na palivo. To se dá koupit od různých výrobců a s různým složením. Pro první starty bylo použito palivo Hyper, které vyrábí holandská firma Jonker a k nám jej dováží firma Pelikán. Litř tohoto paliva se složením 15 % ricínového oleje a 85 % metylalkoholu se prodává za cenu okolo 91 Kč.

Dlouhodobé investice, které je nutné vložit do provozu modelu, závisí na komfortu, který si provozovatel chce dopřát. Nutným vybavením, bez kterého se nelze obejít je:

- Nabíječ vysílačových a přijímačových akumulátorů (299 Kč)
- Zdroj pro žhavení (79 Kč)
- Žhavící koncovka (129 Kč)

Tyto věci lze koupit v různých provedeních za různé ceny. Přibližné minimální náklady, za které by se dané položky daly pořídit, jsou u nich uvedeny. Použití tohoto vybavení však předpokládá např. startování motorů protočením rukou, nebo tankování samospádem, což zaprvé není příliš bezpečné a zadruhé je to zdlouhavé. Levný nabíječ navíc není schopen podat žádné informace o stavu akumulátoru. Pro ulehčení práce, zkrácení doby přípravy modelu a lepší kontrolu nad stavem modelu a akumulátorů, dodávají modelářské prodejny řadu příslušenství.

Pro péči o akumulátory se prodává řada nabíječek, které jsou schopny mimo nabíjení, akumulátory také vybíjet, provádět cyklické nabíjení, měřit kapacitu akumulátoru, dodaný (příp. přijatý) náboj atd. Tyto nabíječky jsou napájeny buďto klasicky z elektrické sítě nebo z autobaterie.

Při provozu motoru si je možno ulehčit práci použitím palivových pump, které se dodávají jak ruční tak elektrické, které jsou napájeny z 12V akumulátoru. Snadné startování pak zajistí elektrický startér, využívající stejné napájecí napětí. Vše je možno umístit do startovacího boxu, opatřeného power panelem, který umožní spojení všech zařízení do jednoho celku a jejich snadné a přehledné ovládání. Obvykle navíc obsahuje zdířky pro připojení žhavící koncovky a možnost manuálně nebo automaticky regulovat velikost žhavícího proudu. K napájení power panelu je pak použito 12V olověného akumulátoru.

6 Zhodnocení cílů:

V práci se podařilo navrhnout bezpilotní prostředek, jehož vlastnosti byly ověřeny za letu a splňují požadavky, které na něj byly kladeny. Jeho nosnost bezpečně dostačuje pro umístění 1 kg nákladu a jeho výdrž převyšuje požadovaných 15 minut. V práci jsou uvedeny základní charakteristiky modelu, které dokazují jeho schopnost plnit účel, ke kterému byl sestrojen.

7 Závěr:

Navržený bezpilotní létající prostředek demonstruje, že je možno s poměrně nízkými náklady vytvořit fungující stroj, schopný plnit vybrané úkoly. Letové zkoušky ukázaly, že se u něj podařilo dosáhnout požadovaných výkonů. Letové vlastnosti splnily očekávání. Letoun je snadno řiditelný, stabilní, má poměrně velký rozsah rychlostí. Použitý motor disponuje velkým přebytkem výkonu, díky němuž jsou požadavky na délku vzletové dráhy minimální. Letoun prokázal dobré vlastnosti také za větru. Konstrukce letounu je navržena tak, že i přes jeho rozměry je možno jej jednoduše rozebrat tak, aby byl jeho transport bezproblémový.

Využití modelu v budoucnosti je otázkou, kterou by se měli zabývat studenti v dalších letech. Některé možnosti, jak využít tento letoun nastínil ve své diplomové práci Bc. David Schwarz. Z důvodu nedostatku financí byly zatím realizovány pouze pokusy se zavěšením digitálního fotoaparátu, s přenosem obrazu na zem v reálném čase. Další navrženou možností bylo například umístění meteorologické sondy. Tato varianta však nestačila být realizována před odevzdáním práce. Konstrukce modelu je dostatečně prostorná na to, aby do něj, v případě zájmu o jeho další rozvoj, bylo možno umístit systém pro automatické řízení letu. Tím by se již model stal plnohodnotným bezpilotním prostředkem a jeho možnosti využití by se dále rozšířily.

8. Seznam použitých pramenů:

- [1] HOŘENÍ, B.; LNĚNIČKA, J. *Letecké modelářství a aerodynamika*. Praha: Naše vojsko, 1977. 296 s.
- [2] LNĚNIČKA, J. *Létání/flying*. Hradec Králové: Aeromodel, 1995. 149 s.
- [3] *Letecké modely*. Praha: Svaz pro spolupráci s armádou, 1982. 72 s.
- [4] TICHAVSKÝ, V. *Základy konstrukce letadel*. 2., rozšířené vydání. Bratislava: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatury, 1977. 276 s.
- [5] KELLER, L.; MEČIAR, M.; STANĚK, M. a kol. *Učebnice pilota*. Cheb: Svět křídel, 2008. 708 s. ISBN-978-80-86808-46-8
- [6] BROŽ, V. *Modely RC vrtulníků*. Brno: Computer press, 2004, 117 s. ISBN-80-251-0105-3
- [7] MERTL, V. *Konstrukce a projektování letadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2000. 133 s. ISBN-80-214-1789-7
- [8] MIKULA, J. *Konstrukce a projektování letadel I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 142 s. ISBN-80-01-03073-3
- [9] MIKULA, J. *Konstrukce a projektování letadel II*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. 245 s. ISBN-80-01-03338-4
- [10] *Katalog 2003-2004*. Pardubice: RCM Pelikán
- [11] LEINVEBER, J.; ŘASA, J.; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, 1999, 985 s. ISBN-80-7183-164-6
- [12] INGL, P. Křídélka. *RC modely*. 1999, č.3, s.12-13. ISSN-1211-7331

- [13] POKORNÝ, J. Výpočet nosníku křídla. *RC modely*. 1999, č.10, s.6. ISSN-1211-7331
- [14] LNĚNIČKA, J. Kam s těžištěm. *RC modely*. 1999, č.2, s.6, ISSN-1211-7331
- [15] INGL, P. Srazový úhel a potlačení motoru. *RC modely*. 1999, č.6, s.5, ISSN-1211-7331
- [16] LNĚNIČKA, J. Ocasní plochy. *RC revue*. 2001, č.4, s.16. ISSN-1213-1303
- [17] KOLMAN, L. Kolmanl.info [online]. 2007 [cit. 16. dubna 2010]. Dostupný z www.: <<http://www.kolmanl.info>>
- [18] LNĚNIČKA, J.; JANOVEC, J. E-magazín akademie letectví [online]. 2008 [cit. 4. dubna 2010]. Dostupný z: <<http://www.airspace.cz/akademie>>

9. Seznam příloh:

Příloha A – Tabulka nastavení vysílače	77
Příloha B – Obrazová příloha, konstrukce a zálet modelu	78
Příloha C – Výkresy modelu – volně vloženo	